"СИСТЕМА ТИМА"
РУССКО-ЯПОНСКАЯ ВОЙНА НА МОРЕ 1904-1905
http://www.sistematima.zz.mu

Конспект-пособие

по торпедному треугольнику

(Пособие для Минно-Торпедного Отдела ВСК)

Составил: Капитан 3 ранга Запутряев

"СИСТЕМА ТИМА"
РУССКО-ЯПОНСКАЯ ВОЙНА НА МОРЕ 1904-1905
http://www.sistematima.zz.mu

Издание Высших Специальных Курсов Командного Состава ВМФ СР

г. Ленинград 1941 г.

Предисловие.

Настоящее пособие составлено для Минно-Торпедного отдела ВСН ВМФ применительно к программе курса торпедной стрельбы. При изложении в основ принят математический метод доказательства зависимостей элементов скоростного и торпедного треугольника, приводимые затем чертежи служат лишь иллюстрацией наглядно подтверждающей математический анализ.

В конспекте частично использовано дифференциальное исчисление и вопросы, в которых оно применяется, отмечены звездочкой. Для лиц, незнакомых с основами дифференциального исчисления, разделы отмеченные звездочкой, могут без особого ущерба опускаться, используя графический метод доказательства.

Капитан Зранга (Запутряев).

Оглавление.

Раздел I. Встреча торпеды с целью. стр.

Глава I. Встреча торпеды с целью без учета ее длины. 1

1. Введение 1
2. Торпедный треугольник - обозначение элементов 2
3. Условия встречи корабля с торпедой. Скоростной треугольник 4
4. Окружность встречи 7
5. Зависимость элементов скоростного треугольника 15
6. Влияние ошибок в К.У. и скорости цели на ошибку в угле упреждения . 32
7. Зависимость элементов торпедного треугольника 37
8. Предельный К.У. и его свойства . . 53

Глава II. Встреча торпеды с целью определенной длины 63

9. Торпедные интервалы 63
10. Допустимая ошибка в угле упреждения 82
11. Полоса попадания и ее практическое применение 92

Конспект
по торпедному треугольнику

Раздел I
Встреча торпеды с целью.

Глава I.
Встреча торпеды с целью без учета ее движения.

1. Введение.

Всякое оружие создается для поражения какой-либо цели, его материальных средств и людского состава.

Какие бы цели не ставила та или иная операция одним из необходимых условий успеха в использовании метательного оружия является попадание[1] и угроза попадания может принудить противника к отказу от активных действий – к отступлению.

Следовательно попадание является необходимым следствием использования метательного оружия.

Тактика использования оружия указывает, как применить его в той или иной операции для достижения поставленной цели, какие применить формы борьбы и организации.

---

[1] Успешность использования метательного оружия определяется вероятностью попадания из него, разрушительным эффектом и скорострельностью.

Раздел Морской тактики - стрельба изучает методы использования оружия, указывает как направить оружие для достижения попадания и как организовать выпуск метательных снарядов.

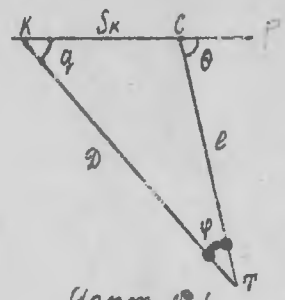
Основой всякой стрельбы является треугольник, решающий задачу направления оружия. Он применяется при использовании любого вида оружия: артиллерии, торпеды, бомб и т.д. Меняется только форма треугольника в зависимости от тактических свойств оружия - например: при наличии снарядов, обладающих большой скоростью и большим превосходством над скоростью цели - треугольник приближается к прямой и превращается в нее, когда цель неподвижна.

Наиболее ярко выраженным будет треугольник у снаряда обладающего малой скоростью (относительно цели) каким является торпеда. Этот треугольник называется торпедным.

2. Торпедный треугольник - обозначение его элементов.

Треугольник решающий задачу встречи цели с торпедой, выпущенный с определенного расстояния называется торпедным.

Элементы торпедного треугольника имеют следующие обозначения. (черт. № 1).



Черт. № 1.

Место корабля в момент выстрела обозначается буквой К, точка встречи торпеды с целью буквой С и место выпуска торпеды - буквой Т.

Углы:

∠ СКТ - курсовой угол корабля $q_к$.

Курсовым углом корабля называется угол, заключенный между направлением диаметральной плоскости корабля и направлением на стреляющий корабль.

Курсовой угол корабля считается от 0 до 180° на оба борта. На правом борту имеет знак (+), на левом - (-).

∠ РСТ - угол встречи - θ.

Углом встречи называется угол, заключенный между диаметральной плоскостью корабля и обратным направлением пути торпеды.

Угол встречи считается от 0° до 180° на оба борта.

∠ НТС - угол упреждения - φ. Углом упреждения называется угол, заключенный между пеленгом на цель и направлением пути торпеды.

Угол упреждения считается от пеленга на цель от 0° до 180°.

Стороны:

Сторона КС – путь корабля – $S_к$.

Сторона ТС – путь торпеды – c.

Путем торпеды называется расстояние, проходимое торпедой от момента вхождения в воду до встречи с предполагаемым курсом цели.

Сторона КТ – дальность торпедной стрельбы – D.

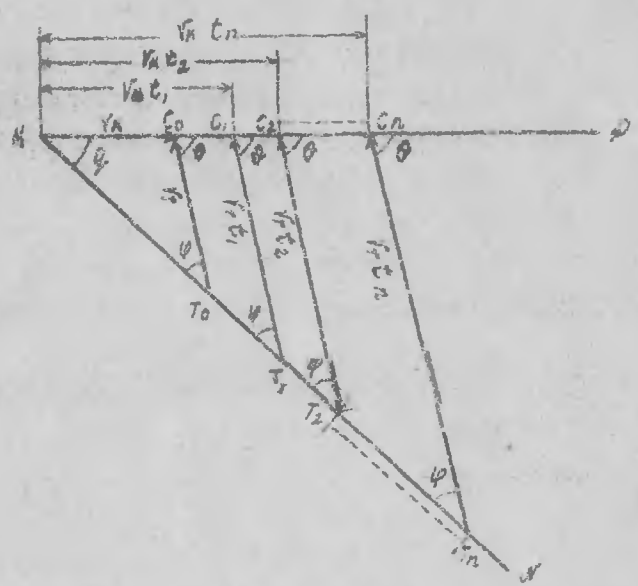
Торпедный треугольник, в котором торпеда до пересечения с курсом цели проходит свою дальность c называется предельным.

В предельном торпедном треугольнике дальность торпедной стрельбы называется предельной дальностью торпедной стрельбы и обозначается $D_{пр}$.

1. Условия встречи корабля с торпедой скоростной треугольник.

Из маневрирования известно, что необходимым условием встречи двух движущихся точек является пропорциональность путей этих точек их скоростям. Следовательно необходимым условием встречи торпеды с целью в торпедном треугольнике будет пропорциональность путей корабля и торпеды их скоростям. Для пояснения рассмотрим чертеж №2.

На курсе корабля К.Р. из точки К проведем пеленг под некоторым курсовым углом $Q_к$.



Черт. № 2.

Затем из точки К отложим скорость цели $V_к$ в определенном масштабе. Из конца вектора скорости цели, радиусом, равным скорости торпеды $V_т$ сделаем на пеленге засечку. Обозначим точки C_n и T_0. Из чертежа видно, что для решения задачи встречи цели с торпедами, выпущенными из точек T_1; T_2 .... T_n, лежащими на пеленге КР, торпеды следует послать и тем все углом φ, т.е. параллельно вектору скорости торпеды – $V_т$.

Точки C_1, C_2 ... C_n будут точками встречи.

Треугольники KC_nT_n; KC_2T_2; KC_1T_1 и К. имеющие общий угол $Q_к$ и параллельные

роны T_nC_n; T_2C_2; T_1C_1; T_0C_0, а вследствие этого и ные углы φ и θ будут подобны друг другу. Сле довательно отношения сторон равны:

$$\frac{KC_n}{T_nC_n} = \dots = \frac{KC_2}{T_2C_2} = \frac{KC_1}{T_1C_1} = \frac{KC_0}{T_0C_0},$$

так как стороны: $KC_n = V_K t_n$

$KC_2 = V_K t_2$

$KC_1 = V_K t_1$

$KC_0 = V_K$,

а стороны: $T_nC_n = V_T t_n$

$T_2C_2 = V_T t_2$

$T_1C_1 = V_T t_1$

$T_0C_0 = V_T$,

то заменив отношения сторон их значения и сократив время получим:

$$\frac{KC_n}{T_nC_n} = \frac{V_K \cancel{t_n}}{V_T \cancel{t_n}} = \frac{V_K}{V_T}$$

$$\frac{KC_2}{T_2C_2} = \frac{V_K \cancel{t_2}}{V_T \cancel{t_2}} = \frac{V_K}{V_T}$$

$$\frac{KC_1}{T_1C_1} = \frac{V_K \cancel{t_1}}{V_T \cancel{t_1}} = \frac{V_K}{V_T}$$

$$\frac{KC_0}{T_0C_0} = \frac{V_K}{V_T}$$

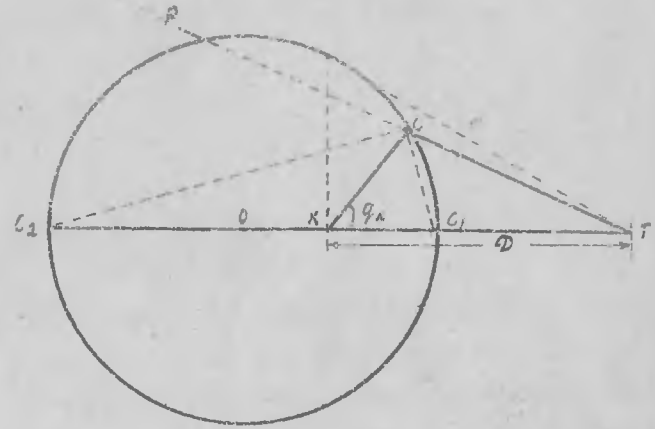
В торпедной стрельбе треугольники KC_nT_n KC_2T_2; KC_1T_1 и KC_0T_0 стороны которых постро пропорционально скоростям цели и торпед называются скоростными треугольниками.

Для данного отношения скоростей цели и то педы и KY можно построить бесчисленное

количество подобных скоростных треугольников. Следовательно скоростные треугольники решающие задачу только о направлении траектории торпеды подобны торпедному треугольнику, решающему эту задачу только с определенной дистанции.

4. Окружность встречи.

Геометрическое место точек встречи торпеды с целью есть окружность, называемая окружностью встречи



Черт. № 3.

Пусть D — есть дальность торпедной стрельбы торпедного треугольника KCT для определенных скоростей цели и торпеды V_C и V_T.

Из точки встречи C до пересечения с дальностью торпедной стрельбы и ее продолжением проведем биссектрисы внутреннего и внешнего угла тре-

угольника CC_1 и CC_2.

На основании свойства биссектрисс и торпедного треугольника можно составить следующие пропорции:

$$\frac{KC}{TC} = \frac{V_к}{V_т}$$

$$\frac{KC_1}{TC_1} = \frac{KC_2}{TC_2} = \frac{KC}{TC}.$$

Из этих пропорций следует, что точки C_1 и C_2 есть точки встречи для курсовых углов цели 0° и 180°.

Сумма углов $\angle PCK$ и $\angle KCT$ как смежных составляют 2α, отсюда сумма половинных углов $\angle C_2CK + \angle KCC_1 = \alpha$ и треугольник C_2CC_1 будет прямоугольным.

Если возьмем другой произвольный курсовой угол, отличный от 0° и 180°, то получим другой прямоугольный треугольник C_2CC_1, имеющий с первым общую гипотенузу C_2C_1. Таким образом в зависимости от курсовых углов цели мы будем иметь бесчисленное количество, имеющих общую гипотенузу прямоугольных треугольников. Отсюда можем заключить, что точки встречи C_1; C, C_2 лежат на окружности с диаметром C_2C_1, а через три точки можно провести только одну окружность; поэтому можно считать доказанным, что геометрическое место точек встречи есть окружность, которую условимся называть <u>окружностью встречи</u>.

Радиус окружности встречи выражается формулой

$$R = D \frac{V_к \cdot V_т}{V_т^2 - V_к^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Радиус окружности встречи находится в таблице №2.[1] элементов торпедного треугольника для данного отношения скоростей и дальности торпедной стрельбы.

Пример на пользование таблицей:

$$\frac{V_к}{V_т} = 0{,}6; \quad D = 30 кб.$$

В таблице №2 находим $\frac{R}{D} = 0{,}94$, откуда

$$R = 0{,}94 D = 0{,}94 \times 30 кб. = 28{,}2 кб.$$

<u>Графическое построение окружности встречи.</u>

<u>1-й способ.</u> Из чертежа №3 видно, что путь торпеды ТС представляет собой секущую окружности встречи.

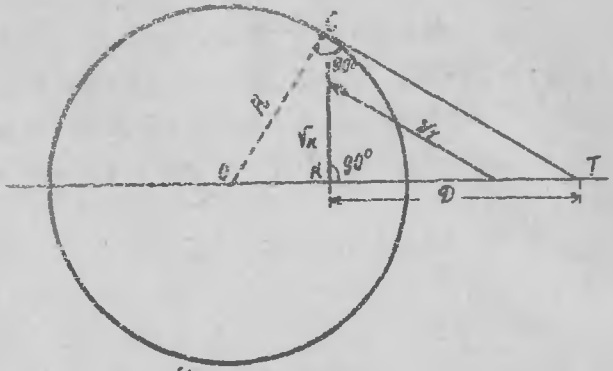
С увеличением курсового угла цели до 90° эта секущая приближается к касательной и при КУ 90° данная ТС становится касательной (В этом случае КСТ имеет наибольшую высоту). Перпендикуляр, восстановленный из точки встречи до пересечения с продолжением дальности торпедной стрельбы и будет радиусом окружности встречи.

Построение окружности встречи показано на чертеже №4.

---

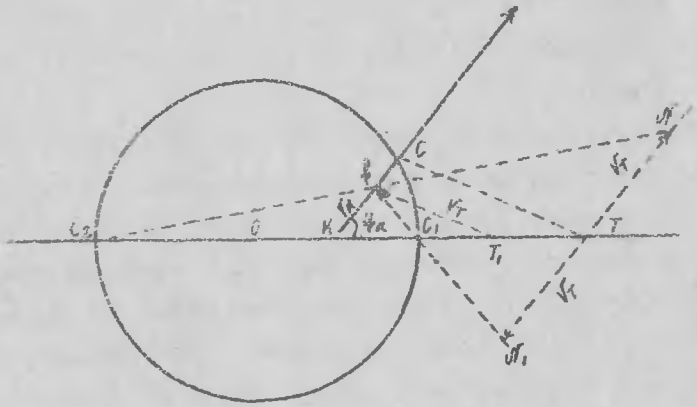
[1] „Таблицы элементов торпедного треугольника" изд. 1940 г.

СИСТЕМА ТИМА
РУССКО-ЯПОНСКАЯ ВОЙНА НА МОРЕ 1904-1905
http://www.sistematima.zz.mu



Черт. №4.

2-й способ. Построение окружности встречи при произвольном КУ цели кроме 0° и 180°.



Черт. №5.

Для построения чертежа откладывается дальность торпедной стрельбы КТ. У точки (К) строится произвольный курсовой угол цели $q_ц$ и вектор скорости цели – Vк (КЦ). Из конца вектора скорости цели (Ц) радиусом скорости торпеды $V_т$ на дальности торпедной стрельбы делается засечка. Треугольник КЦТ₁ будет скоростным. Затем из точки (Т) проводится прямая ТС параллельная вектору скорости торпеды, до пересечения с продолжением вектора (КЦ). Таким образом получим торпедный треугольник КСТ, у которого (С) будет точкой встречи. Для нахождения точек встречи при КУ 0° и 180° у точки (Т) проводится прямая ТN₁ ∥ КС и откладываются два вектора скорости торпеды TN и TN₁; соединяя затем точки N₁ и Ц получим точку встречи при КУ цели 0° и, проведя прямую, соединяющую точки (NЦ) с продолжением дальности торпедной стрельбы (КТ), получим точку встречи при КУ 180°. Прямая C_1C_2 и будет диаметром искомой окружности встречи. Для доказательства рассмотрим ΔΔ КЦС, TN₁C₁; КС₂Ц; TC₂N; КСТ и КЦТ₁.

Из подобия ΔΔ КЦС, и TN₁C следует, что

$\frac{KC_1}{TC_1} = \frac{V_к}{V_т}$ и точка C_1 есть точка встречи при $q_ц = 0°$.

Из треугольников $KC_2Ц$ и TC_2N именно из их подобия также следует, что $\frac{KC_2}{TC_2} = \frac{V_к}{V_т}$ и точка C_2 будет точкой встречи при $q_к = 180°$ и наконец из подобия ΔΔ КСТ и КЦТ, можно заключить, что $\frac{KC}{TC} = \frac{V_к}{V_т}$, т.е. точка С будет точкой встречи для некоторого пеленга $q_ц$. Таким образом имея три точки встречи можно провести через них только одну окружность встречи.

Исследование формулы радиуса окружности встречи

Под исследованием будем понимать определение зависимости радиуса окружности встречи от дальности торпедной стрельбы и отношения скоростей цели и торпеды.

В торпедной стрельбе для удобства расчетов принято отношение скоростей $\frac{V_к}{V_т}$ обозначать буквой m.

а) Зависимость R от D

Из формулы (1) видно, что R [illegible] циональна D.

б) Зависимость R от m

Для определения характера этой зависимости найдем ее для $m=0$.

$m<1$.

$m=1$.

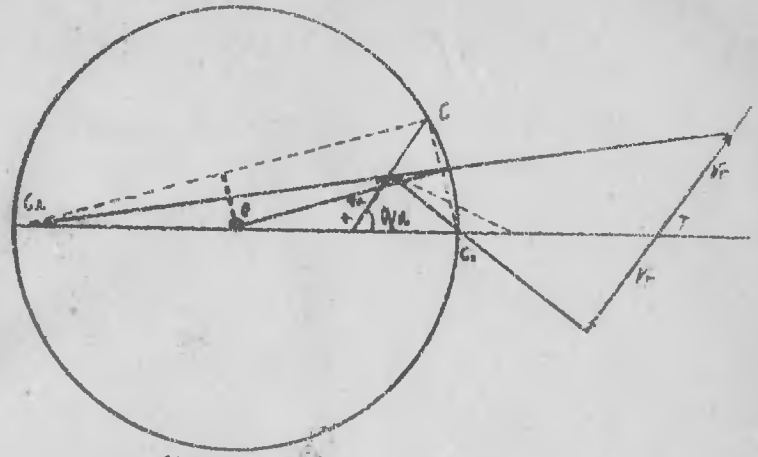
$m>1$.

1. При $m=0$

$V_к=0$; $R=0$. Окружность встречи превращается в точку.

2. При $m<1$

$V_к<V_т$ из формулы видно, что R имеет определенное положительное значение, т.е. центр окружности встречи расположен за точкой T. Для доказательства приводится чертеж № 5.



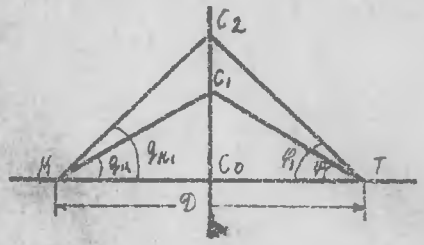
Черт. № 6.

На чертеже видно, что если $V_к<V_т$, то точка встречи при КУ цели 180° (C_2) находится за точкой (K). Прямая C_1C_2 будет диаметром окружности встречи. Для нахождения ее центра, из середин хорд CC_1 и CC_2 восставляют перпендикуляры, точка пересечения которых с продолжением дальности торпедной стрельбы $TK-D$ и будет центром данной окружности встречи и чертеж наглядно показывает справедливость приведенного выше рассуждения.

3. $m=1$.

$$V_к=V_т;\quad R=\frac{V_к\cdot V_т}{D}\quad D=\pm\infty$$

Радиус окружности встречи возрос до $\pm\infty$, т.е. окружность превратилась в прямую, перпендикулярную дальности торпедной стрельбы и [illegible] дящую через ее середину, см. черт. № 7.



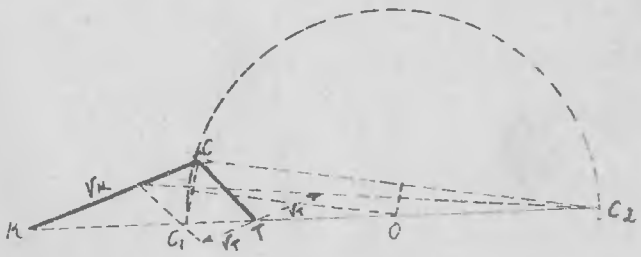
Черт. № 7.

4. $m > 1$

$V_к > V_т$; $R = D\frac{V_к \cdot V_т}{-V_к^2 + V_т^2} = -D\frac{V_к \cdot V_т}{V_к^2 - V_т^2}$

R будет иметь определенное конечное отрицательное значение, т.е. центр окружности встречи в этом случае переместится за точку Т. Для пояснения приводится ниже чертеж № 8.

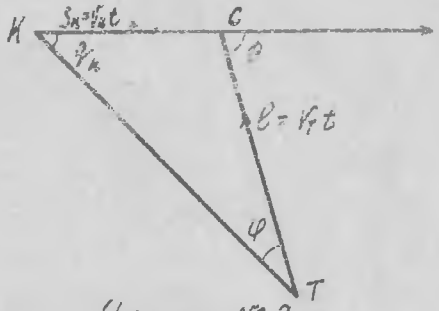
Построение чертежа аналогично построению чертежей № 5 и 6.



Черт. № 8.

5. Зависимость элементов скоростного треугольника.

Для обеспечения попадания в цель, торпеду надо направить по определенным углом упреждения φ. Для определения зависимостей его от элементов скоростного треугольника обратимся к чертежу № 9.



Черт. № 9.

Применяя теорему синусов можем составить следующую пропорцию:

$$\frac{\sin\varphi}{\sin q_к} = \frac{S_к}{l} = \frac{V_к t}{V_т t}; \quad \frac{\sin\varphi}{\sin q_к} = m; \quad \sin\varphi = m \cdot \sin q_к \ldots\ldots (2)$$

По формуле $\sin\varphi$ составлена таблица № 3 элементов торпедного треугольника.

Пример на пользование таблицей:

$V_к = 21$ уз. — По таблице № 1 находим

$V_т = 34$ уз. — $m = 0617 \cong 0,625$

$q_к = 42°$ — Из таблицы № 3 определяем

Найти φ — $\varphi = 24\ 3/4°$

Из формулы $\sin\varphi$ видно, что φ зависит только от отношения скоростей (m) и курсового угла $q_к$.

Зависимость φ от отношения скоростей.

Увеличение отношения скоростей, при постоянном курсовом угле увеличивает угол упреждения, например:

При $m<1$; $\varphi < q_к$ При $m=1$; $\varphi = q_к$ При $m>1$; $\varphi > q_к$

Из формулы (2) следует, что $\sin\varphi$ возрастает до максимума = 1, при этом значении $\sin\varphi$, $\varphi = 90°$. Следовательно увеличение отношения скоростей при постоянном КУ цели вызывает увеличение φ до 90° и наоборот. Уменьшение отношения скоростей уменьшает φ.

Курсовой угол цели соответствующий $\varphi = 90°$ называется критическим курсовым углом стрельбы и обозначается $q_к$.

Величина критического курсового угла стрельбы определяемая следующей формулой

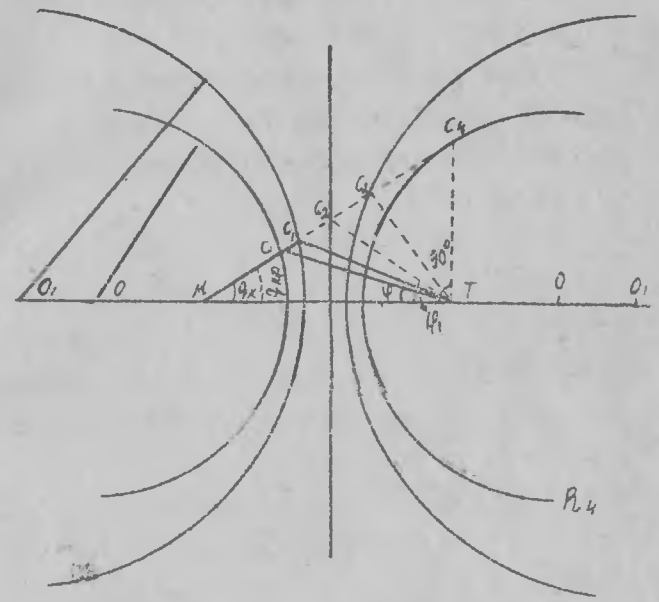
$$\sin q_{кр} = \frac{1}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Таким образом критический курсовой угол стрельбы обладает следующими свойствами:

1. Появляется при отношениях скоростей больше 1.
2. Соответствует $\varphi = 90°$.
3. Является наибольшим курсовым углом цели

для данного отношения скоростей, при котором возможна встреча торпеды с целью.

На чертеже 10 показана зависимость φ от отношения скоростей.



Черт. № 10.

Из чертежа видно, что с увеличением отношения скоростей при постоянном КУ цели ($q_к$) точка встречи последовательно занимает места: C_1, C_2, C_3, и C_4 перемещается до тех пор, пока путь корабля KC_4 не станет касательной геометрической окружности встречи, чему будет соответствовать угол упреждения равный 90°. При дальнейшем увеличении отношения скоростей встречи цели с торпедой уже не будет, так как путь корабля

в этом случае пройдет вне окружности встречи.

Формула $\sin\varphi$ может быть выражена в обратном виде $\sin q_к = \frac{\sin\varphi}{m}$.

Она служит для отыскания по данным φ и m величины курсового угла цели.

По этой формуле построена таблица №4 элементов торпедного треугольника.

Пример на пользование таблицей

$m = 0{,}75$

$\varphi = 24$

найти курсовой угол.

По таблице № 4 $q_к = 33°$.

Если в этой формуле приравнять $\varphi = 90°$, то мы опять получим формулу критического курсового угла стрельбы.

На этом основании в таблицах [illegible] пустые графы обозначают, что курсовые углы цели больше критических.

Зависимость φ от $q_к$

При постоянном отношении скоростей, изменение КУ цели изменяет величину φ.

1. При $q_к = 0°$; $\sin\varphi = m \cdot \sin 0°$; $\varphi = 0$.

С увеличением КУ цели до 90° угол упреждения увеличивается и достигает максимального значения при $q_к = 90°$

$\sin\varphi = m \sin 90° = m$.

Угол упреждения, соответствующий курсовому углу 90° называется максимальным углом упреждения

и синус его равен отношению скоростей

$\sin\varphi_{max} = m$ ..... (4)

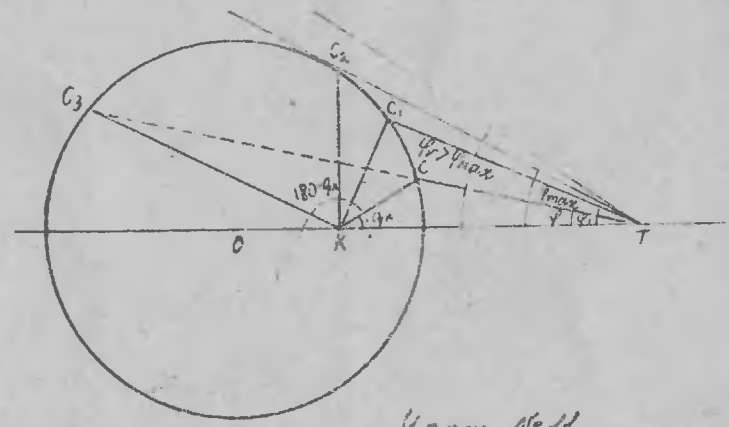
По формуле $\sin\varphi_{max}$ построена таблица 11 элементов торпедного треугольника.

Максимальный угол упреждения имеет практическое применение при стрельбах с [illegible] в малой видимости и при отыскании [illegible] пикал прицельных приборов.

2. При увеличении $q_к$ за 90° угол упреждения начинает уменьшаться и для углов $(180° - q_к)$ принимает те же значения, что и для углов $q_к$. Это следует из того, что для каждого $\varphi < \varphi_{max}$ имеются две точки встречи, соответствующие КУ $q_к$ и $(180° - q_к)$.

3. При КУ 180°, как и при $q_к = 0$ $\sin\varphi = m \cdot \sin 180° = 0$

Разобранные выше положения иллюстрируются чертежом.



Черт. № 11

Из рассмотрения чертежа следует, что при φ_{max} траектория торпеды касательна к окружности встречи

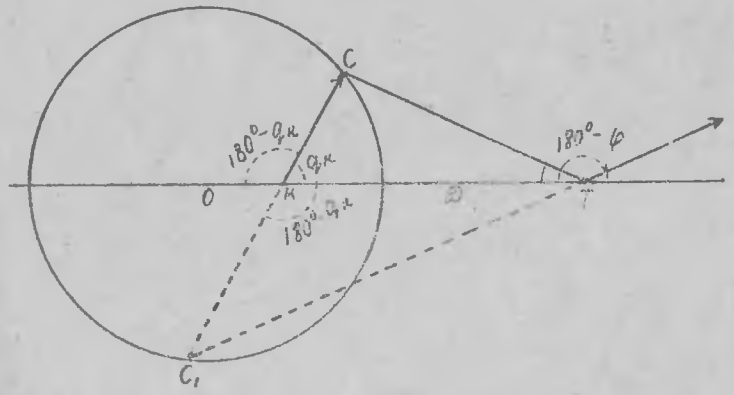
а поэтому торпеда, выпущенная с углом упреждения больше φ так никогда окружности встречи не пересечет и встречи ее с целью не будет ни при каком курсовом угле.

Практическое значение угла упреждения.

Из формулы угла упреждения видно, что каждому данному курсовому углу соответствуют два значения φ, синусы которых равны $\sin\varphi = \sin(180^\circ - \varphi)$. Поэтому следует разобрать какое из этих значений φ имеет практическое применение и какова наибольшее значение φ.

Для этого следует разобрать следующие 3 случая:

1-й случай при $m < 1$, когда $-180^\circ - \varphi > 180^\circ - q_к$



Черт. № 12.

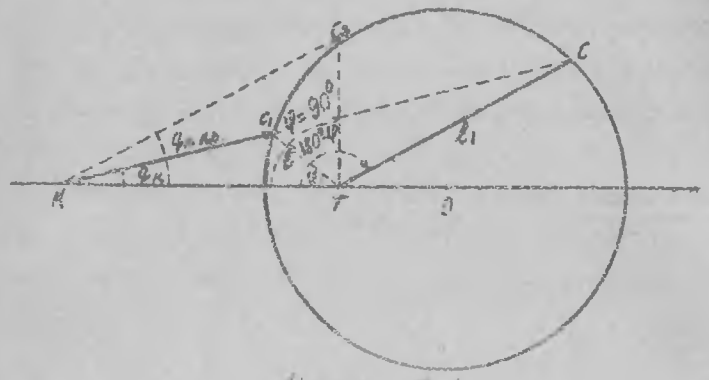
При угле упреждения равном $180^\circ - \varphi$ стр[ельба] торпеды с целью невозможна, так как [корабля] и торпеды расходятся. Если бы торпеду послать по обратному направлению ее траектории, то она могла бы встретиться с целью в точке C_1, т.е. при обратном курсе цели и курсовой угол ее в этом случае равнялся $180^\circ - q_к$.

2-й случай $m = 1$, $\varphi = q_к$.

Черт. № 13.

В этом случае курсы корабля и торпеды будут параллельны и теоретически встреча возможна в бесконечности только при $q_к = 90^\circ$, так как цель и торпеда будут идти на [параллельных] курсах, угол упреждения будет также 90°.

3-й случай $m > 1$ $180° - \varphi < 180° - q_к$



Черт. №14

В этих условиях, торпеда посланная с углом $180° - \varphi$ встретится с целью в некоторой точке C, как это показано на чертеже №14, но в этом случае путь торпеды c_1 будет значительно больше ее пути (c) посланной с углом φ.

Этот случай тоже практически не реален.

Разобрав указанные 3 случая можно сделать следующие выводы:

1. При отношении скоростей меньше единицы встреча цели с торпедой, посланной с углом $(180° - \varphi)$ невозможна.

2. При отношении скоростей $m = 1$, встреча цели с торпедой, посланной с углом $(180° - \varphi)$ теоретически возможна в бесконечности и только при $q_к$ и $\varphi = 90°$.

3. При отношении скоростей $m > 1$ встреча цели с торпедой, посланной с углом $(180° - \varphi)$ возможна практически, но путь торпеды в этом случае будет значительно превосходить путь торпеды, выпущенной с углом φ, т. е. этот случай практически не реален.

4. При данных условиях стрельбы угол упреждения может иметь лишь одно практическое значение, меньшее 90° и наибольшее значение угла упреждения будет 90°, соответствующие, при данном отношении скоростей критическому курсовому углу стрельбы.

Угол встречи и его зависимость от отношения скоростей и курсового угла цели.

Угол встречи, как внешний угол торпедного треугольника равен сумме курсового угла цели и угла упреждения

$$\Theta = q_к + \varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5).$$

Все эти три угла связаны друг с другом формулами: $\sin \varphi = m \cdot \sin q_к$ и $q_к + \varphi = \Theta$, при помощи которых рассчитана таблица № 5 элементов торпедного треугольника.

В таблице №5 по аргументам - отношение скоростей цели и торпеды и углу встречи определяется курсовой угол и угол упреждения.

Пользуясь этими же формулами - можно найти зависимость φ от m и Θ следующим образом:

$\sin\varphi = m \cdot \sin q_к$ т.к. $q_к = \theta - \varphi$, то
$\sin\varphi = m \cdot \sin(\theta - \varphi)$, раскрывая скобки получим:
$\sin\varphi = m(\sin\theta\cos\varphi - \sin\varphi\cos\theta)$. Вынеся за скобки $\sin\varphi$ и произведя соответствующие сокращения можно решить это уравнение относительно φ.

$$\sin\varphi = m \cdot \sin\varphi(\sin\theta \operatorname{ctg}\varphi - \cos\theta)$$
$$\sin\theta \cdot \operatorname{ctg}\varphi - \cos\theta = \frac{1}{m}, \text{ откуда}$$
$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{\frac{1}{m} + \cos\theta}{\sin\theta}$$

и окончательно

$$\operatorname{Ctg}\varphi = \frac{\frac{V_ц}{V_т} + \cos\theta}{\sin\theta} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

Таким образом пятую таблицу элементов торпедного треугольника можно непосредственно рассчитать и при помощи формулы №6. Ниже приводится соответствующий расчет:

Дано: $\theta = 80°$; $m = 0{,}6$.
Найти: φ и $q_к$
Решение:

$$\operatorname{Ctg} = \frac{\frac{1}{6} + \cos 80°}{\sin 80°} = \frac{\frac{5}{3} + 0{,}17}{0{,}98} = \frac{1{,}66 + 0{,}17}{0{,}98} = \frac{1{,}83}{0{,}98} = 1{,}87,$$

отсюда $\varphi = 28°$, $q_к = 52°$

При стрельбе с подлодок формула №6 применяется для расчета φ в зависимости от угла встречи (θ) и по ней рассчитана верхняя строка таблицы №6 маневрирования и стрельбы подлодок.

Переходим к разбору зависимости θ от элементов скоростного треугольника. Формулу угла встречи можно видоизменить следующим образом:

$$\theta = q_к + \varphi = \underline{q_к + \operatorname{arc}\sin m \sin q_к}$$

Из видоизмененной формулы следует, что θ зависит только от отношения скоростей цели и торпеды и курсового угла.

Зависимость (θ) от (m).

(1) Из формулы видно, что увеличение отношения скоростей при постоянном курсовом угле цели увеличивает угол встречи. Увеличение угла встречи здесь происходит за счет угла упреждения, причем оно происходит неравномерно, т.е. скорость увеличения θ различная. Для определения скорости возрастания θ нужно найти производную от $\theta = q_к + \operatorname{arc}\sin m \sin q_к$

$$\frac{d\theta}{dm} = \frac{d(q_к + \operatorname{arc}\sin m \sin q_к)}{dm} = \frac{d(\operatorname{arc}\sin m \sin q_к)}{dm} =$$
$$= \frac{\sin q_к}{\sqrt{1 - m^2\sin^2 q_к}}, \qquad \frac{d\theta}{dm} = \frac{\sin q_к}{\sqrt{1 - m^2\sin^2 q_к}} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Исследование формулы (7).

1. При $m = 0$ скорость возрастания θ минимальна и равна

$$\frac{d\theta}{dm} = \frac{\sin q_к}{\sqrt{1 - 0}} = \sin q_к$$

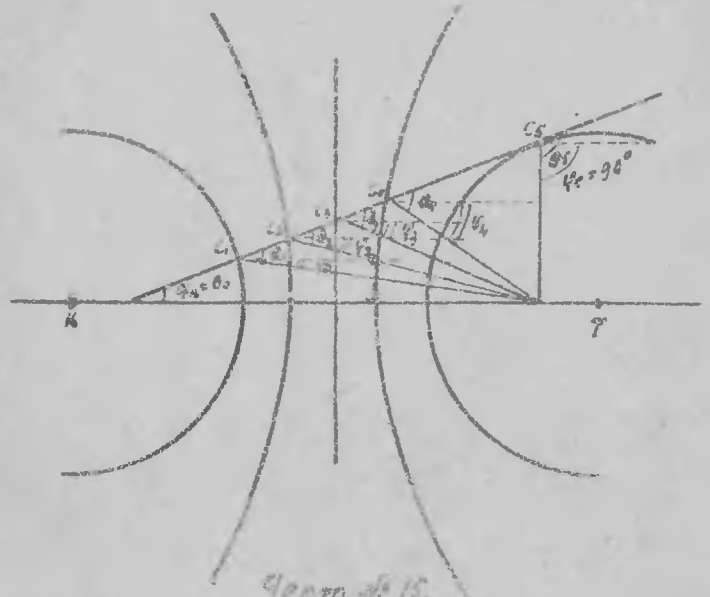
2. Увеличение (m) увеличивает скорость возрастания θ до максимального значения равного $+\infty$ при $m=\frac{1}{\sin q_н}$:

$$\frac{d\theta}{dm}=\frac{\sin q_н}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{\sin q_н}\right)^2\cdot\sin^2 q_н}}=\frac{\sin q_н}{0}=+\infty$$

Если значение $m=\frac{1}{\sin q_н}$ подставить в формулу синуса φ, то найдем значение φ соответствующее этому отношению скоростей.

$$\sin\varphi=\frac{1}{\frac{1}{\sin q_н}}\sin q_н=1,\ \text{отсюда}\ \varphi=90^\circ.$$

Для иллюстрации указанных выше исследований приводится чертеж №15 зависим θ от m и диаграмма.



Черт. № 15.

Определение зависимости θ от (m) чертежом.

Из рассмотрения чертежа следует, что при $m=0$; $\theta=q_н$.

С увеличением отношения скоростей до максимального значения, при котором путь корабля KC_5 превращается в касательную последней окружности встречи, угол встречи при постоянной КУ цели ($q_н$) непрерывно растет за счет угла упреждения до тех пор, пока постоянный КУ ($q_к$) не станет критическим углом стрельбы, т.е., когда $\theta=q_{кр}+90^\circ$. Для определения максимального значения (m) обратимся к треугольнику прицеливания KC_5T. Из этого треугольника следует, что отношение скоростей должно быть равно отношению пути цели и торпеды, т.е.

$$m=\frac{v_к}{v_т}=\frac{v_к t}{v_т t}=\frac{KC_5}{TC_5}.$$

Величина $\frac{KC_5}{TC_5}$ может быть представлена как

$$\frac{1}{\frac{TC_5}{KC_5}},$$

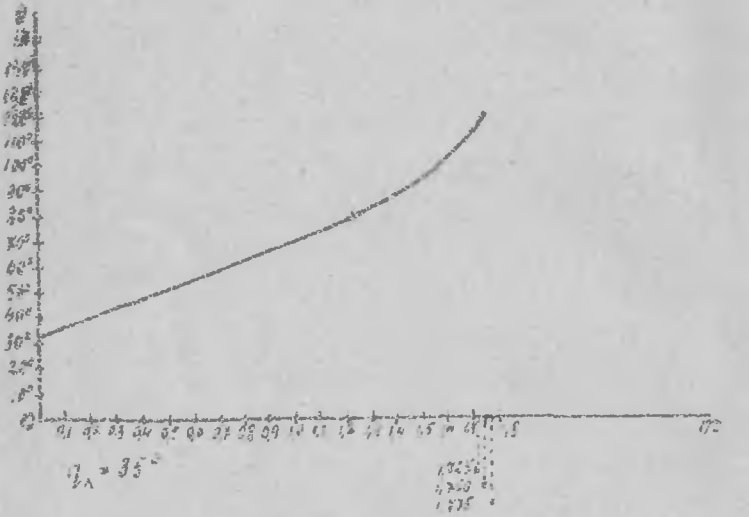
и тогда $m=\frac{1}{\frac{TC_5}{KC_5}}$

из прямоугольного ΔKC_5T видно, что

$$\frac{TC_5}{KC_5}=\sin q_к.$$

Следовательно $m_{max}=\frac{1}{\sin q_н}$.

Диаграмма кривой θ в зависимости от m при постоян. $q_к$.



Из диаграммы видно, что с увеличением m скорость возрастания θ также увеличивается и при подходе отнош. скоростей к величине, при которой φ приближается к $90°$, эта скорость возрастания θ стремится к бесконечности.

Резюмируя все сказанное о зависимости θ от m приходим к выводу:

1. С увеличением m при постоянном $q_к$, θ непрерывно возрастает до величины равной $Q_к + 90°$.

2. Скорость возрастания θ неравномерная: при $m = 0$ минимальная равна $\sin q_к$, с увели-

чением m до $\frac{1}{\sin q_к}$ увеличивается до $+\infty$. При дальнейшем увеличении m скорость возрастания θ станет мнимой величиной, т.е. встречи торпеды с целью не будет.

Зависимость θ от $q_к$.

При постоянном отношении скоростей и увеличении курсового угла, угол встречи будет непрерывно возрастать и скорость возрастания θ в этом случае будет также неравномерной,* для определения ее следует продифференцировать формулу $\theta = q_к + \arcsin m \sin q_к$ по $q_к$.

$$\frac{d\theta}{dq_к} = \frac{d(q_к + \arcsin m \sin q_к)}{dq_к} = \frac{dq_к}{dq_к} + \frac{d(\arcsin m \sin q_к)}{dq_к} =$$

$$= 1 + \frac{m \cos q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}}; \quad \frac{d\theta}{dq_к} = 1 + \frac{m \cos q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}} \quad \ldots\ldots (8)$$

Таким образом пользуясь этой формулой № 8 можно вычислить $d\theta$ в зависимости от $dq_к$.

Например.

Для $m = 0,5$ и $q_к = 30°$ найти $d\theta$ при $dq_к = 10°$

$$d\theta \left(1 + \frac{m \cos q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}}\right) dq_к$$

$$d\theta = \left(1 + \frac{0,5 \times 0,87}{\sqrt{1 - 0,25 \times 0,25}}\right) \times 0,174^{x)} = \left(1 + \frac{0,44}{\sqrt{0,94}}\right) \times 0,174 = \left(1 + \frac{0,44}{0,96}\right) \times 0,174 =$$

$= (1 + 0,46) \times 0,174 = 1,46 \times 0,174 \cong 0,25$ радиана. Отсюда $d\theta = \frac{[illegible]}{4} = 14,$

x) $dq_к = 10° = 0,174$ в радианах.

для сравнения возьмем эти данные по таблице № 5.

на $m = 0{,}5$ и $q_к = 30^\circ$ $\theta \cong 45^\circ$
на $m = 0{,}5$ и $q_к = 40^\circ$ $\theta_1 = 59^\circ$ $\Big\}$ $\Delta\theta = 14^\circ$

Как видно результаты почти сходятся.

Исследование формулы (8).

1. При $q_к = 0$; $\frac{d\theta}{dq_к} = 1 + \frac{m}{1} = 1 + m$ максимальна.

2. Увеличение $q_к$ уменьшает скорость возрастания θ до минимума при $q_к = 180^\circ$.

Здесь $\frac{d\theta}{dq_к} = 1 - m$.

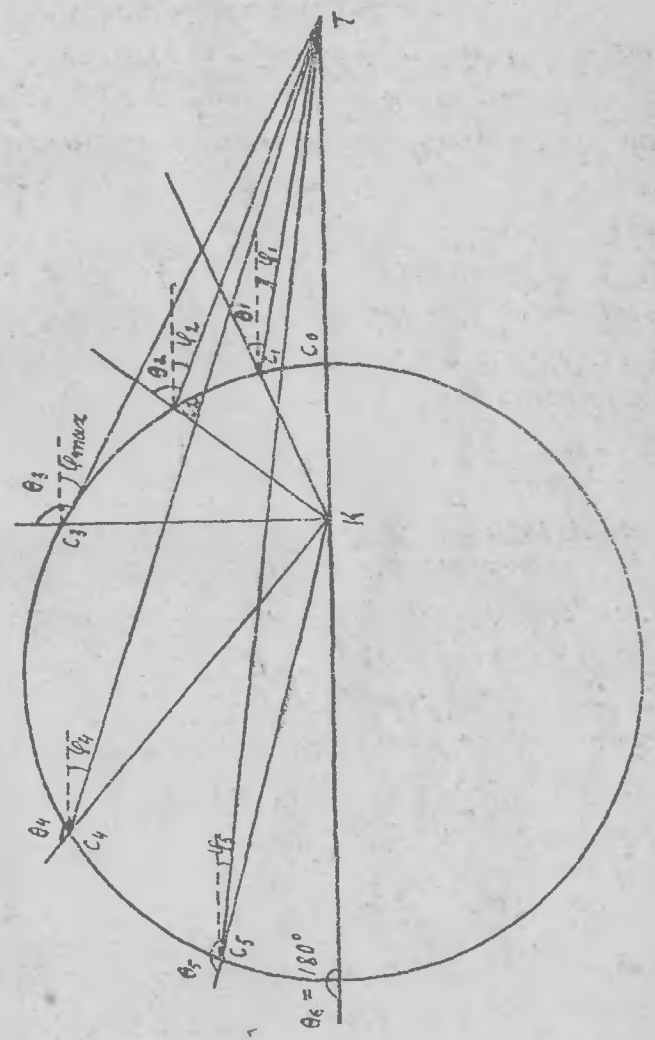
Ниже для иллюстрации приводится чертеж № 16 (стр. 31)

Чертеж подтверждает приведенные выше рассуждения:

1. При $q_к$ равном 0° и увеличение его, скорость возрастания θ наибольшая, так как φ возрастает с наибольшей скоростью.

2. По мере увеличения $q_к$ скорость возрастания θ уменьшается – φ растет медленнее

3. При $q_к$ близких к 180° скорость возрастания θ близка к минимуму, так как в этом случае φ убывает с наибольшей скоростью.



Черт. № 16.

6. Влияние ошибок в курсовом угле и скорости цели на ошибку в φ.

При любом методе определения элементов движения цели возможны ошибки в определении и скорости цели. Поэтому необходимо знать влияние этих ошибок на величину ошибки в φ для выбора наиболее выгодной позиции залпа по курсовому углу.

Для исследования этого вопроса разберем сначала влияние ошибки в КУ, а затем и ошибки в скорости цели на величину ошибки в φ на всем диапазоне КУ цели.

Влияние ошибки в КУ цели на ошибку в φ

Из формулы синуса φ видно, что увеличение КУ на некоторую величину $\Delta q_к$ увеличит угол упреждения, при чем это увеличение φ на разных КУ неодинаково.

⊛ Для уточнения этого изменения φ следует формулу его продифференцировать:

1. $d \sin\varphi = d(m \sin q_к)$
2. $\cos\varphi \, d\varphi = m \cos q_к \, dq_к$

3. $$d\varphi = \frac{m\cos q_к}{\cos\varphi} \cdot dq_к = \frac{m \cdot \cos q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}} \cdot dq_к$$

$$d\varphi = \frac{m \cos q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}} \cdot dq_к \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Исследование формулы (9).

1. При $q_к = 0$; $d\varphi = \frac{m}{\sqrt{1}} dq_к = m dq_к$

т.е. в этом случае ошибка в $q_к$ максимально влияет на величину ошибки в φ.

2. С увеличением $q_к$ от $0°$ до $90°$

$$d\varphi = \frac{0}{\sqrt{1 - m^2}} dq_к = 0$$

т.е. при одной и той же ошибке в КУ ошибка в φ уменьшается до 0.

3. Увеличение $q_к$ от $90°$ до $180°$ опять увеличивает ошибку в φ до максимального отрицательного значения и при $180°$; $d\varphi = \frac{-m}{\sqrt{1}} dq_к = -m dq_к$

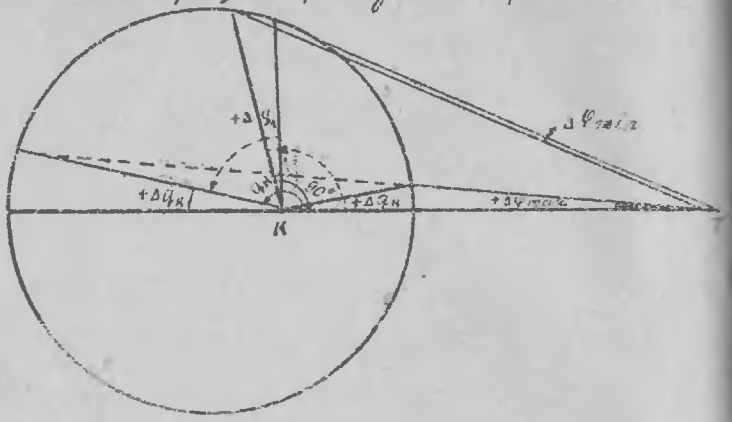
Следовательно можно сделать следующий вывод:

1. Ошибка в КУ цели влияет на ошибку в φ на различных КУ неодинаково.

2. При КУ цели $0°$ ошибка в КУ ее вызывает максимальную ошибку в φ.

3. При одной и той же ошибке в КУ и с увеличением КУ от $0°$ до $180°$ ошибка в φ уменьшается до минимального значения при КУ цели $90°$, а затем опять начинает возрастать, меняя знак на обратный до максимального значения при КУ цели $180°$.

Для иллюстрации приводится чертеж №17.



Черт. №17

Влияние ошибок в скорости цели на ошибку в φ.

Для исследования этого вопроса дифференцируем формулу sin φ по (m).

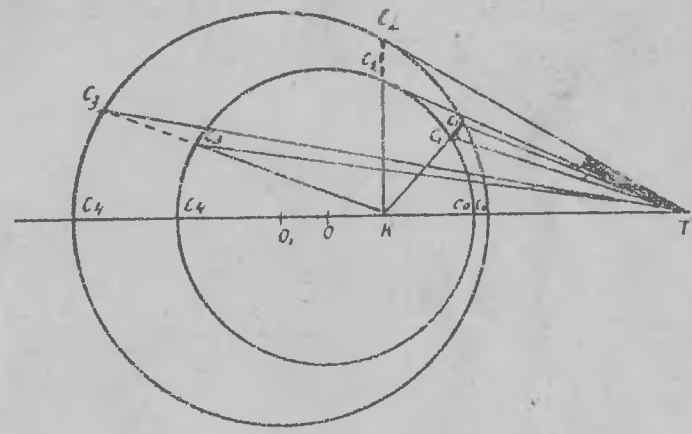
1. $d(\sin\varphi) = d(m\sin q_к)$
2. $\cos\varphi\, d\varphi = \sin q_к\, dm$
3. $d\varphi = \frac{\sin q_к}{\cos\varphi}\cdot dm$
4. $d\varphi = \frac{\sin q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\, dm$ ..... (1

Исследование формулы (10) на различных КУ цели позволяет сделать следующее заключен

С изменением курсового угла цели от 0° до 18 при одной и той же ошибке в скорости цели (d ошибка в φ увеличивается от минимального з

чения (при $q_к = 0°$) равного $d\varphi_{min} = 0$ до максимума $d\varphi_{max} = \frac{dm}{\sqrt{1-m^2}}$ (при $q_к = 90°$), затем уменьшается опять до прежнего минимального значения при $q_к = 180°$.

Для иллюстрации разобранных выше положений приводится чертеж №18.



Черт. №18

На чертеже 18 приведены две окружности встречи и приращения путей корабля C_0C_0; C_1C_1; C_2C_2; C_3C_3; C_4C_4 есть результат ошибки в скорости цели, т.е. $C_0C_0 = \Delta V_к t_0$; $C_1C_1 = \Delta V_к t_1$; $C_2C_2 = \Delta V_2 t_2$; $C_3C_3 = \Delta V_к t_3$ и $C_4C_4 = \Delta V_к t_4$.

Из чертежа видно, что при КУ цели 0° и 180° приращения путей C_0C_0 и C_4C_4 вызываемые одной и той-же ошибкой в скорости цели не влияют на величину ошибки в φ, она равна нулю. При острых и тупых КУ приращения путей цели C_1C_1 и

C_3C_3 уже вызывают некоторую ошибку в угле упреждения и наконец на КУ 90° приращения пути цели C_2C_2 в максимальной степени влияет на величину ошибки в φ, на этом КУ она максимальна.

Таким образом чертеж подтверждает сделанный ранее вывод.

Влияние скорости торпеды на ошибку в D при постоянных ошибках в КУ и скорости цели.

⊛ Исследуя формулы

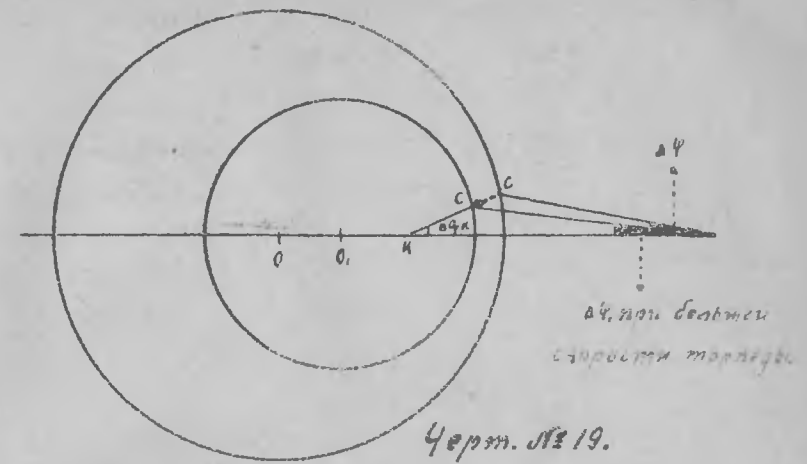
$$d\varphi = \frac{m\cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\cdot dq_к$$

и $$d\varphi = \frac{\sin q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\cdot dm$$ в зависимости от изменения отношения скоростей для разных скоростей торпеды находим:

Увеличение скорости торпеды (т.е. уменьшение m) уменьшает влияние ошибок в курсовом угле и скорости на ошибку в φ.

Следовательно для повышения точности стрельбы необходимо иметь наиболее выходные торпеды.

Для наглядности приводится соответствующий чертеж №19 (стр. 37).

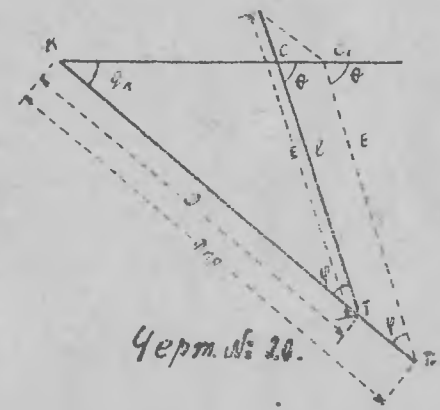


Черт. № 19.

Из чертежа видно, что с уменьшением отношения скоростей (т.е. при увеличении скорости торпеды) при одной и той же ошибке в курсовом угле ($\pm\Delta q_к$), ошибка в φ ($\pm\Delta\varphi$) уменьшается.

7. Зависимость элементов торпедного треугольника. Дальность торпедной стрельбы D.

Для решения вопроса встречи цели с торпедой выпущенной с определенного расстояния нужно найти зависимость D от прочих элементов торпедного треугольника.



Черт. № 20.

Эта зависимость может быть выражена аналит. следующим образом - см. чертеж с. 20.

Из Δ НСТ по теореме синусов.

$$\frac{НТ}{ТС} = \frac{\sin\theta}{\sin q_к}; \quad \frac{D}{\ell} = \frac{\sin\theta}{\sin q_к}; \quad D = \ell \frac{\sin\theta}{\sin q_к} \quad \ldots\ldots (11)$$

Если в формуле (11) подставим вместо пути торпеды ее дальность Е, то найдем зависимость предельной дальности торпедной стрельбы от дальности торпеды

$$D_{пр.} = E \frac{\sin\theta}{\sin q_к}.$$

По формуле 11 составлена таблица №6 элементов торпедного треугольника в которой по аргументам m и $q_к$ находятся относ. $\frac{D}{\ell}$ и θ

Зависимости от величины (в) может быть рассчитана непосредственно дальность торпедной стрельбы:

Пример на пользование таблицей:

Дано: $m = 0{,}76$; $q_к = 43°$; $\ell = 22$ кб.

Найти D.

Решение:

По 6-й таблице $\frac{D}{\ell} = 1{,}4$ отсюда

$D = 1{,}4 \times \ell = 1{,}4 \times 22 = 30{,}8$ кб.

В некоторых случаях стрельбы необходимо определять дальность торпедной стрельбы в зависимости от m и φ для чего в формулу (11) вместо $\sin q_к$ следует подставить его значение, равное $\frac{\sin\varphi}{m}$ и тогда формула (11) примет вид показанный равенством (12)

$$D = \ell \frac{\sin\theta}{\frac{\sin\varphi}{m}}; \quad D = m \cdot \ell \frac{\sin\theta}{\sin\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

Для практических подсчетов по форм. (12) рассчитана специальная таблица № 8 элементов торпедного треугольника.

В таблице № 8 дальность торпедной стрельбы уже находится по аргументам m и φ.

Пример на пользование таблицей.

Дано: $m = 0{,}65$. Решение:

$\varphi = 25°$ По таблице №8 находим

$\ell = 15$ кб. $\frac{D}{\ell} = 1{,}4$ отсюда.

Найти D. $D = 15 \times 1{,}4 = 21$ кб.

Выведенные ранее формулы дальности торпедной стрельбы (№№ 11 и 12) не позволяют установить непосредственно из них характер зависимости D от прочих элементов торпедного треугольника.

Поэтому следует произвести необходимое видоизменение формулы следующим образом:

Из формулы $D = \ell \frac{\sin\theta}{\sin q_к}$ видно, что D зависит от ℓ, m и $q_к$, потому, что θ зависит только от отношения скоростей цели и торпеды и курсового угла ее.

Далее известно, что $\theta = q_к + \varphi$, следовательно

$$1. \quad \frac{D}{\ell} = \frac{\sin\theta}{\sin q_к} = \frac{\sin(q_к + \varphi)}{\sin q_к} = \frac{\sin q_к \cdot \cos\varphi + \sin\varphi \cdot \cos q_к}{\sin q_к} =$$

$$= \frac{\sin q_к (\cos\varphi + \sin\varphi \operatorname{ctg} q_к)}{\sin q_к} = \cos\varphi + \sin\varphi \cdot \operatorname{ctg} q_к = -$$

$$= \cos\varphi + m \cdot \sin q_к \cdot \frac{\cos q_к}{\sin q_к} = \cos\varphi + m\cos q_к, \text{ т.}$$

$$\cos\varphi = \sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}, \text{ то}$$

2. $\frac{D}{\ell} = \sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к$ и

$$D = \ell\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + \cos q_к \cdot m\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

Из формулы (13) зависимость D от m и $q_к$ видна наглядно. Теперь остается отдельно разобрать зависимость D от ℓ, m и $q_к$.

Зависимость D от ℓ.

Из формулы 11 или 13 видно, что D прямо пропорционально ℓ.

Зависимость D от m при постоян. $q_к$

Представим D как $f(m)$ тогда скорость ее изменения в зависимости от m будет:

$$\frac{dD}{dm} = \frac{d\left[\ell\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)\right]}{dm} = \frac{\ell d\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)}{dm} =$$

$$= \ell\left[-2m\sin^2 q_к \cdot \frac{1}{2}\left(1-m^2\sin^2 q_к\right)^{-\frac{1}{2}} + \cos q_к\right] = \ell\left(\cos q_к \frac{m\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\right)$$

т.е. $$\frac{dD}{dm} = \ell\left(\cos q_к - \frac{m\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

Исследование формулы (14).

1. При $m=0$ скорость возрастания D:

$$\frac{dD}{dm} = \ell(\cos q_к - 0) = \ell\cos q_к$$ максимальна и $D=\ell$.

2. С увеличением (m) скорость возрастания D уменьшается до 0 затем меняет знак на обратный и достигает отрицательн. максимального значения при $m = \frac{1}{\sin q_к}$ т.е. при $\varphi = 90°$ для которого данный $q_к$ превращается в критический угол стрельбы. в этом случае при $m = \frac{1}{\sin q_к}$;

$$\frac{dD}{dm} = \ell\left(\cos q_к - \frac{\sin q_к}{\sqrt{1-\frac{\sin^2 q_к}{\sin^2 q_к}}}\right) = \ell\left(\cos q_к - \frac{\sin q_к}{0}\right) = -\infty$$

будет отрицательной и $D = \ell\left(\sqrt{1-\frac{\sin^2 q_к}{\sin^2 q_к}} + \frac{\cos q_к}{\sin q_к}\right) = \ell \cdot \operatorname{ctg} q_к$.

3. Значение (m) при максимуме D. в этом случае:

$$\frac{dD}{dm} = 0;\ \ell\left(\cos q_к - \frac{m\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\right) = 0;$$ и

$$\frac{m\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} = \cos q_к$$ отнуда $$\frac{m^2\sin^4 q_к}{1-m^2\sin^2 q_к} = \cos^2 q_к$$ и

$m^2\sin^4 q_к = \cos^2 q_к - \cos^2 q_к\, m^2\sin^2 q_к$; далее $m^2\sin^4 q_к + \cos^2 q_к\, m^2\sin^2 q_к = \cos^2 q_к$, вынесем в левой части $m^2\sin^2 q_к$ за скобки и сокращаем $(\sin^2 q_к + \cos^2 q_к)\, m^2\sin^2 q_к\,(\sin^2 q_к + \cos^2 q_к) = \cos^2 q_к$, отсюда $m^2\sin^2 q_к = \cos^2 q_к$ и $m^2 = \operatorname{ctg}^2 q_к$, а $m = \operatorname{ctg} q_к$.

4. Угол встречи соответств. $m = \operatorname{ctg} q_к$ будет определяться так:

$$m = \operatorname{ctg} q_к = \frac{\cos q_к}{\sin q_к}$$

отсюда.

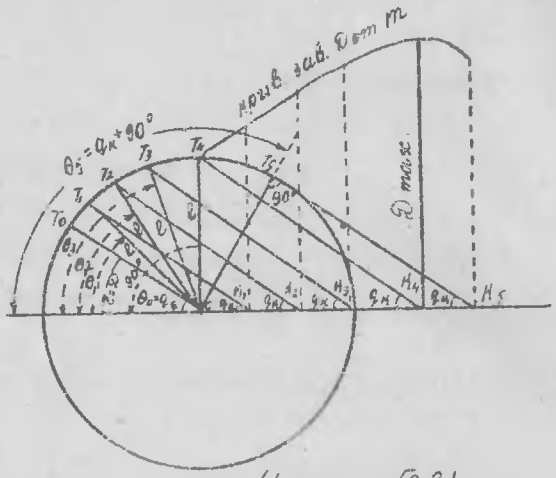
$$m\sin q_к = \cos q_к = \sin(90° - q_к),$$

так как $m\sin q_к = \sin\varphi$, то $\sin\varphi = \sin(90° - q_к)$ показывает, что $\theta = 90°$.

Произведенный анализ формулы (14) позволяет сделать следующий вывод:

При постоянном курсовом угле, увеличение отношения скоростей увеличивает дальность торпедной стрельбы до максимума при $\theta = 90°$, после чего дальность торпедной стрельбы начинает убывать до тех пор, пока данный постоянный КУ не сделается критическим, чему соответствует $m = \frac{1}{\sin q_к}$.

Для иллюстрации указанной выше зависимости $D_{от}$ m приводится чертеж № 21.



Черт. № 21

Для вывода зависимости дальности торпедной стрельбы от отношения скоростей графическим путем применяется так называемый круг стрельбы.

Для построения круга стрельбы - проводится курс цели и из точки встречи (С) радиусом пути торпеды (ℓ) проводится окружность. Эта окружность, являющаяся геометрическим местом торпед, попадающих в цель при данном пути торпеды (ℓ), и называется кругом стрельбы.

На чертеже 21 построен круг стрельбы радиусами на курсе цели от точки встречи (С) откладываются пути корабля для различных отношений скоростей, начиная с нуля, тогда точки: K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 и

будут места, соответственно занимаемые кораблем в момент выпуска торпеды.

У точек K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 и K_5 строится постоянный курсовой угол цели ($Q_к$) и проводятся дальности торпедной стрельбы до пересечения с окружностью стрельбы и точки: T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5 будут соответственно места выпуска торпед.

Для построения кривой дальности $D_{от}$ (m) на курсе цели из точек: K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 и K_5 проводят ординаты, соответственно равные полученным дальностям торпедной стрельбы, и соединяют концы ординат согласной кривой.

Из построенного таким образом чертежа видно, что при $m = 0$ $(\Theta = Q_к)$ дальность торпедной стрельбы равна пути торпеды. С увеличением (m) дальность торпедной стрельбы увеличивается и достигает максимума при $\Theta = 90°$, затем она начинает убывать до тех пор, пока не превратится в касательную круга стрельбы. В этом случае КУ цели становится критическим углом стрельбы и

$$\Theta_5 = Q_к + 90°.$$

При дальнейшем увеличении (m) встречи торпеды с целью уже не будет, так как данный постоянный КУ $(Q_к)$ будет больше критического угла стрельбы.

Для определения отношения скоростей при $D_{максим.}$ и предельного, обратимая к торпедным треугольникам $K_4 C T_4$ и $K_5 C T_5$. Из $\Delta K_4 C T_4$ можно вывести следующее: $m = \frac{K_4 C}{T_4 C} = ctg\, Q_к$

Следовательно, дальность торпедной стрельбы достигает максимума при $m = ctg\, q_к$.

Из $\Delta K_5 C T_5$ также можно вывести, что

$$m_{пр.} = \frac{K_5 C}{T_5 C} = \frac{1}{\frac{T_5 C}{K_5 C}} = \frac{1}{\sin q_к}$$

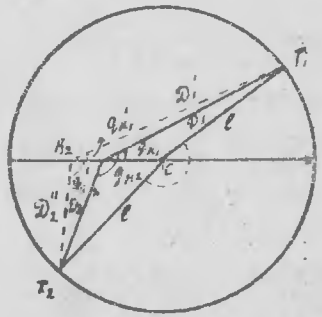
При стрельбе с подлодок необходимо также знать зависимость D от m при постоянном θ.

Эта зависимость также разбирается графическим путем для острых и тупых курсовых углов цели.

Зависимость D от m при постоян. θ.

Проводим круг стрельбы. В верхней его части строим острый угол встречи соответственно острому КУ цели. В нижней части - тупой угол встречи для тупого КУ цели.

Затем увеличивая m графически, определяем изменение D, черт. 22.



Черт. № 22.

Из чертежа следует, что при постоянном угле встречи с увеличением отношения скоростей дальность торпедной стрельбы увеличивается при острых КУ цели и уменьшается при тупых КУ цели.

Зависимость D от $q_к$.

⊗ Так же, как и при нахождении зависимости D от m, определяем скорость изменения D в зависимости от $q_к$, т.е.

$$\frac{dD}{dq_к} = \ell\left[\frac{d\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}{dq_к} + \frac{d(m\cos q_к)}{d q_к}\right] =$$

$$= \ell\left[-2m^2\sin q_к \cos q_к \cdot \frac{1}{2}(1-m^2\sin^2 q_к)^{-\frac{1}{2}} - m\sin q_к\right] =$$

$$= \ell\left(-\frac{m^2\sin q_к\cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} - m\sin q_к\right) = -m\ell\sin q_к\left(\frac{m\cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} + 1\right),$$

$$\frac{dD}{dq_к} = -m\ell\cdot\sin q_к\left(\frac{m\cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} + 1\right) \quad \ldots\ldots (15)$$

Исследование формулы (15).

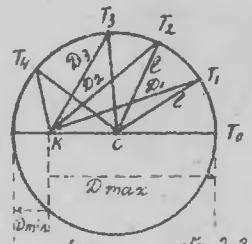
1. Скорость возрастания D на всем диапазоне КУ от $0°$ до $180°$ отрицательна, т.е. D убывает.

2. При $q_к = 0$; $\frac{dD}{dq_к} = 0$ - минимальна и $D = \ell(1+m)$.

3. С увеличением $q_к$ скор. убыв. возрастает достигает максимума при подходе к КУ $90°$; $\frac{dD}{dq_к} = -\ell m$ затем уменьшается и при КУ $180°$ становится равным 0, так как $\frac{dD}{dq_к} = 0$. В этих условиях при $q_к = 90°$ и $180°$ дальность торпедной стрельбы принимает следующие значения: $D_{q_к\,90°} = \ell\sqrt{1-m^2}$ и $D_{q_к\,180°} = \ell(1-m)$.

Следовательно:

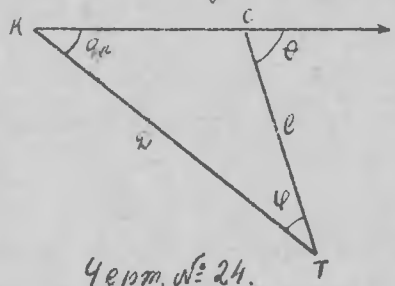
При постоянном отношении скоростей с увеличением КУ от нуля до 180° дальность торпедной стрельбы от максим. значен. при КУ 0° непрерывно убывает до минимум. значения при $q_к = 180°$. Для иллюстрации приводится чертеж № 23.



Черт. № 23

Путь торпеды θ.

Путь торпеды легко может быть выведен либо непосредственно из чертежа торпедного треугольника либо из формулы дальности торпедной стрельбы.



Черт. № 24.

Из чертежа 24 по теореме синусов

$$\frac{\ell}{D} = \frac{\sin q_к}{\sin \theta}; \quad \ell = D \cdot \frac{\sin q_к}{\sin \theta} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Если в формуле (16) D приравнять $D_{пр.}$, то получим формулу дальности торпеды $E = D_{пр.} \cdot \frac{\sin q_к}{\sin \theta}$.

По формуле 16 рассчитана таблица № 7 элементов торпедного треугольника.

Пример на пользование таблицей.

Дано: $m = 0{,}65$

$D = 20$ кб

$q_к = 48°$

Найти ℓ.

Решение:

1. Из таблицы 7 по $m = 0{,}65$ и $q_к = 48°$ находим

$$\frac{\ell}{D} = 0{,}76 \text{ откуда}$$

2. $\ell = 0{,}76\, D = 0{,}76 \times 20$ кб $= 15{,}2$ кб.

$\ell = 15{,}2$ кб.

Формулу 16 можно преобразовать таким образом, чтобы определить ℓ в зависимости от m и φ для чего вместо $\sin q_к$ следует подставить его значение через $\sin \varphi$ и тогда.

$$\ell = D \frac{\frac{\sin \varphi}{m}}{\sin \theta} = D \frac{\sin \varphi}{m \cdot \sin \theta}, \text{ т. е.}$$

$$\ell = D \cdot \frac{\sin \varphi}{m \cdot \sin \theta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

Для нахождения θ в зависимости от m и φ составлена таблица № 9 элементов торпедного треугольника.

Пример: дано $m = 0{,}25$

$\varphi = 28°$

$D = 10$ кб Найти ℓ

Решение.

1. Из таблицы 9 по $m = 0{,}85$ и $\varphi = 28°$ находим $\bar{\ell} = 0{,}63$ откуда

2. $\ell = 0{,}63 \times D = 0{,}63 \times 10 = 6{,}3$ кб.

Для исследования зависимости ℓ от прочих элементов торпедного треугольника обратимся к формуле (13), из которой

$$\ell = \frac{D}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

Сравнивая формулы 13 и 18 можно считать, что зависимость ℓ от элементов торпедного треугольника обратно зависимости D.

Поэтому также, как и дальность торпедной стрельбы путь торпеды зависит от отношения скоростей цуковой цели и дальности торпедной стрельбы.

Зависимость ℓ от D

Из формулы 18 следует, что путь торпеды прямо пропорционален дальности торпедной стрельбы.

Зависимость ℓ от m при постоянном $q_к$

Представим ℓ как функцию от m $\ell = f(m)$, тогда для определения характера завис. ℓ от m надо найти скорость возрастания или убывания этой $f(m)$ т.е.

$$\frac{d\ell}{dm} = -\frac{D \cdot d\left(\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к\right)}{\left(\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к\right)^2} =$$

$$= -\frac{D\left(\cos q_к - \dfrac{m \sin^2 q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}}\right)}{\left(\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к\right)^2} \quad \text{и}$$

$$\frac{d\ell}{dm} = -D \frac{\left(\cos q_к - \dfrac{m \sin^2 q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}}\right)}{\left(\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к\right)^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

Исследование формулы (19)

Знак минус у формулы (19) показывает, что с изменением m путь торпеды уменьшается, т.е. скорость возрастания отрицательна. Для проверки рассмотрим значения $\frac{d\ell}{dm}$ при различных отношениях скоростей:

1. При $m = 0$ $\frac{d\ell}{dm} = -\frac{D(\cos q_к - 0)}{1} = -D \cos q_к$ т.е. максимальна и $\ell = D$.

2. С увеличением m скорость убывания уменьшается и при значении $m = \frac{1}{\sin q_к}$ принимает вид

$$\frac{d\ell}{dm} = -\frac{D\left(\cos q_к - \dfrac{\sin q_к}{0}\right)}{\operatorname{ctg}^2 q_к} = +\infty \quad \text{и} \quad \ell = \frac{D}{\operatorname{ctg} q_к}.$$

При этом $\sin \varphi = \frac{1}{\sin q_к} \cdot \sin q_к = 1$; т.е. $\varphi = 90°$ здесь функция уже возрастает - следовательно она должна иметь минимум.

3. Для нахождения минимума выражение:

$$D\left(\cos q_к - \frac{m \sin^2 q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}}\right)$$

приравняем нулю. Отсюда:

а) $\frac{m \sin^2 q_к}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2 q_к}} = \cos q_к$; $\quad \frac{m^2 \sin^4 q_к}{1 - m^2 \sin^2 q_к} = \cos^2 q_к$ и

б) $m^2 \sin^4 q_к = \cos^2 q_к - m^2 \sin^2 q_к \cdot \cos^2 q_к$ или

в) $m^2 \sin^4 q_к + m^2 \sin^2 q_к \cdot \cos^2 q_к = \cos^2 q_к$

выносим за скобки $m^2 \sin^2 q_к$ тогда:

г) $m^2 \sin^2 q_к (\sin^2 q_к + \cos^2 q_к) = \cos^2 q_к$ и

д) $m^2 \sin^2 q_к = \cos^2 q_к$; откуда $m^2 = \operatorname{ctg}^2 q_к$ и $m = \operatorname{ctg} q_к$

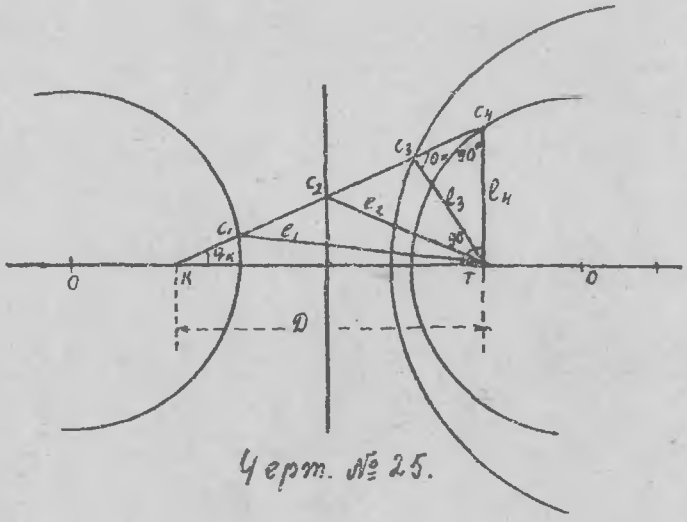
Ранее при исследовании формулы (14) нами было найдено, что $m = \operatorname{ctg} q_к$ соответств. $\theta = 90°$.

Таким образом на основании произведенного исследования, приходим к следующему выводу:

При постоянном курсовом угле $Q_к$ с увеличением отношения скоростей от 0 до значения равного $\frac{1}{\sin q_к}$, путь торпеды от максимального значения равного D уменьшается до минимума при угле встречи 90° и $\ell = D \sin q_к$ затем опять возрастает до тех пор пока данный постоянный курсовой угол не станет критическим.

В этом случае $\ell = D \cdot \operatorname{tg} q_к$.

На чертеже №25 графически показано зависим. ℓ от m при постоян. $q_к$.



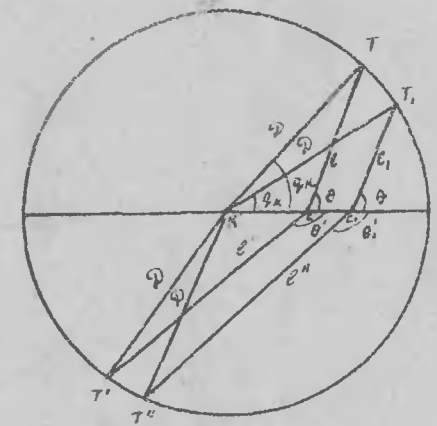
Черт. № 25.

Чертеж №25 наглядно показывает изменение ℓ от m и подтверждает сделанный на основании исследований вывод.

Зависимость ℓ от m при постоянном угле встречи. (эта зависимость может иметь применение при исследовании вопросов стрельбы с подлодок).

Эта зависимость легко определяется чертежом который приводится ниже. Чертеж №26.

На чертеже из точки К радиусом дальности торпедной стрельбы описывается окружность, затем по курсу цели откладывается в масштабе путь корабля ($\ell_к$). Под острым и тупым углами встречи проводятся пути торпеды. Увеличивая в зависимости от роста m пути корабля сравнивают, полученные графически пути торпеды.



Черт. №26

Из чертежа 26 видно, что увеличение т при постоянном угле встречи на острых НУ цели уменьшает путь торпеды, на тупых НУ – увеличивает.

Зависимость ℓ от $q_к$.

Для нахождения скорости изменения ℓ в зависимости от $q_к$ нужно взять производную от формулы пути торпеды:

$$\frac{d\ell}{dq_к} = -\frac{d\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)\cdot D}{\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)^2} =$$

$$= -\frac{\left[-2m^2\sin q_к\cdot\cos q_к\cdot\frac{1}{2}\left(1-m^2\sin^2 q_к\right)^{-\frac{1}{2}} - m\sin q_к\right]\cdot D}{\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)^2} =$$

$$= \frac{+\left(\frac{m^2\sin q_к\cdot\cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} + m\sin q_к\right)D}{+\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)^2};$$

$$\frac{d\ell}{dq_к} = \frac{\left(\frac{m^2\sin q_к - \cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} + m\sin q_к\right)D}{\left(\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + m\cos q_к\right)^2} \qquad (20)$$

Исследование формулы (20).

Скорость изменения $\frac{d\ell}{dq_к}$ положительна, следовательно ℓ должен возрастать для проверки найдем значения $\frac{d\ell}{dq_к}$ при $q_к = 0;\ 90°$ и $180°$.

1. При $q_к = 0$ $\frac{d\ell}{dq_к} = 0$ скорость возрастания минимальна и $\ell = \frac{D}{1+m}$

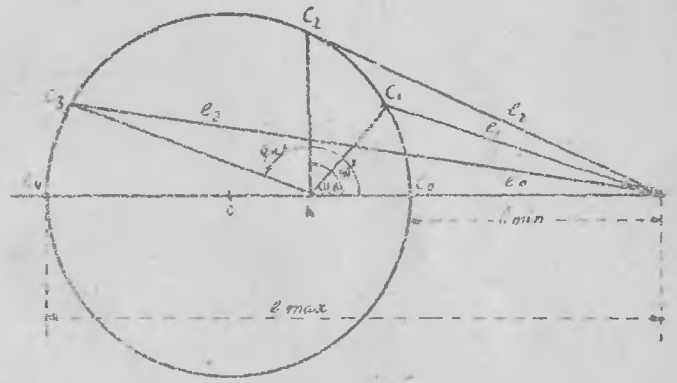
2. При $q_к = 90°$; $\frac{d\ell}{dq_к} = \frac{m\cdot D}{\left(\sqrt{1-m^2}\right)^2} = \frac{m}{1-m}$ достигает максимума и $\ell = \frac{D}{\sqrt{1-m^2}}$.

3. При $q_к = 180°$; $\frac{d\ell}{dq_к} = 0$ опять минимальна и $\ell = \frac{D}{1-m}$

Это исследование позволяет сделать следующий вывод.

При постоянном отношении скоростей увеличение НУ цели от 0° до 180° увеличивает путь торпеды от минимум. значения при 0° до максимального значения при НУ 180°.

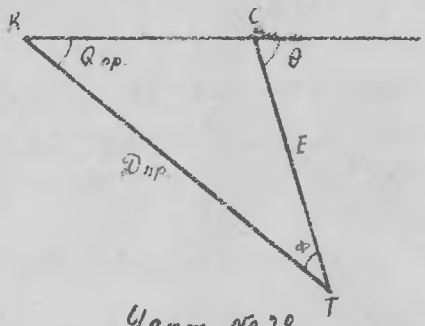
Для наглядности в подтверждение данного вывода приводится чертеж № 27.



Черт. № 27.

8. Предельный курсовой угол и его свойства.

Курсовой угол в предельном торпедном треугольнике называется предельным курсовым углом цели. Чтобы дать полное определение предельного НУ надо разобрать его свойства, а для этого найти это аналитическое выражение от прочих элементов торпедного треугольника.



Черт. № 28.

Из чертежа 28

$$\frac{\sin Q}{\sin \theta} = \frac{E}{Д_{пр.}}; \quad \sin Q = \frac{E}{Д_{пр.}} \cdot \sin \theta.$$

Для удобства расчетов формула $Q_{пр.}$ видоизменяется так:

$$\sin Q = \frac{\sin \theta}{\frac{Д_{пр}}{E}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

По этой формуле составлена таблица № 10 элементов торпедного треугольника, в которой по отношению скоростей (m) и отношению предельной дальности торпедной стрельбы к дальности торпеды ($\frac{Д}{E}$) отыскивается Q.

Пример на пользование таблицей.

Дано:

$m = 0,7$

$\frac{Д_{пр}}{E} = 0,96$

Найти $Q_{пр}$

Решение: В таблице № 10 отыскиваем

$Q = 72°$

Если в формуле 21 заменить значение $\sin Q$ через $\sin$ соответств. угла упреждения $Ф$, то она примет следующий вид:

$$\sin Q = \frac{\sin Ф}{m} = \frac{\sin \theta}{\frac{Д_{пр.}}{E}} \quad \text{откуда}$$

$$\sin Ф = m \cdot \frac{\sin \theta}{\frac{Д_{пр}}{E}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

По формуле 22 рассчитана таблица № 11 элементов торпедного треугольника.

Пример на пользование таблицей.

Дано $m = 0,8$

$\frac{Д_{пр.}}{E} = 0,9$

Найти $Ф$, $Ф = 49\frac{1}{2}°$.

Для аналитического исследования формулы предельного $Д_У$ представляет большие затруднения, то поэтому применим графическое исследование.

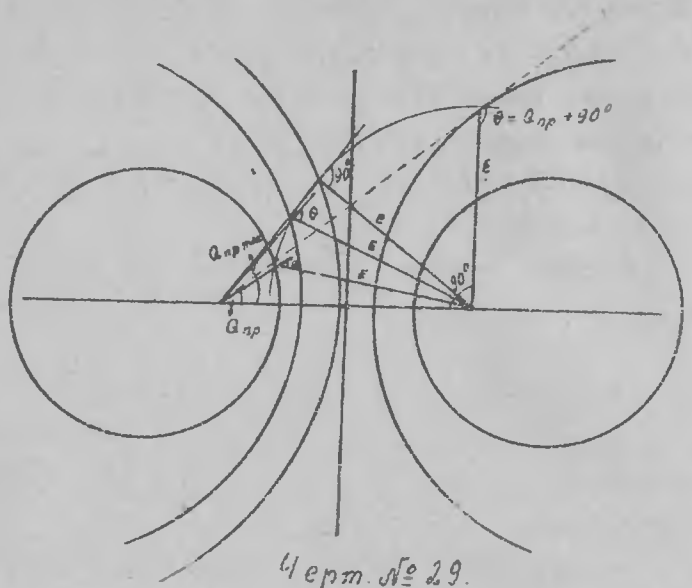
Из формулы Q следует, что Q зависит от отношения скоростей (m), которое входит в $\sin \theta$ в скрытом виде и от отношения $\frac{Д_{пр.}}{E}$.

Зависимость Q от m.

Может быть разобрана для отношения $\frac{Д_{пр.}}{E}$ меньших и больших единиц. Поэтому это разберем отдельно.

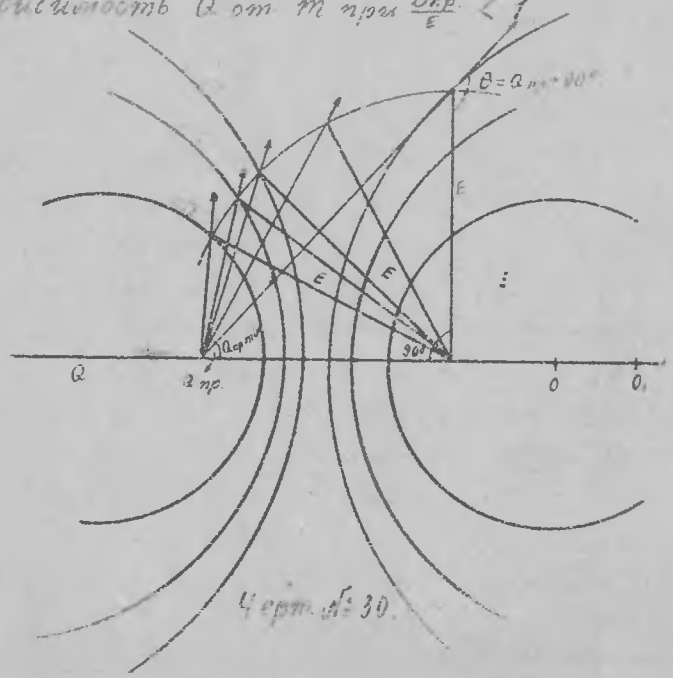
Зависимость Q от m при $\frac{Д_{пр}}{E} > 1$.

*) „Таблицы элементов торпедного треугольника" издания 1932 г.



Черт. № 29.

Зависимость Q от m при $\frac{D_{пр}}{E} < 1$



Черт. № 30.

Из рассмотрения чертежей 29 и 30 следует, что

1. При $\frac{D_{пр}}{E} > 1$ при увеличении (m) Q возрастает до тех пор пока угол встречи не вырастет до 90° затем начинает уменьшаться.

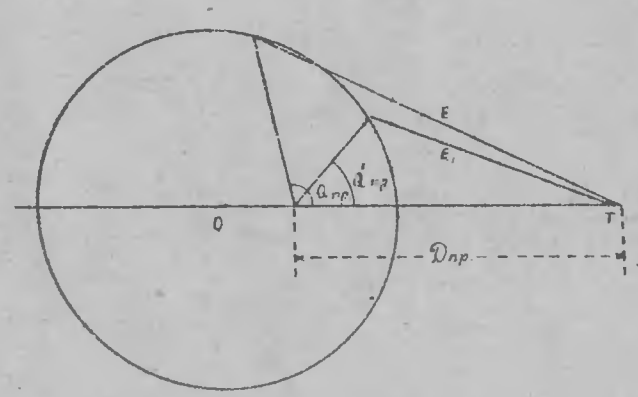
2. При $\frac{D_{пр}}{E} < 1$ с увеличением m Q непрерывно уменьшается.

3. В обоих случаях уменьшение Q происходит до тех пор пока он не обратится в критический угол стрельбы.

Зависимость Q от отношения $\frac{D_{пр}}{E}$.

Графический метод наглядно показывает эту зависимость.

Так как отношение скоростей m постоянно то на чертеже нужно построить только одну окружность встречи. Изменять отношение $\frac{D_{пр}}{E}$ можно за счет изменения $D_{пр}$. или E. Для удобства чертежа увеличение $\frac{D_{пр}}{E}$ покажем уменьшением E.



Черт. № 31.

На чертеже 31 видно, что при постоянном отношении скоростей, увеличение отношения предельной дальности торпедной стрельбы к дальности торпеды непрерывно уменьшает предельный КУ цели.

Из свойств предельного курсового угла можно вывести уже более точное его определение:

Предельный курсовой угол есть наибольший курсовой угол для данного отношения скоростей, дальности торпедной стрельбы и дальности торпеды, при котором выпущенная торпеда по прошествии своей дальности достигнет цели.

Практическое применение Q.

Предельный КУ применяется:

1. При уклонении от залпа и
2. При уклонении от атаки.

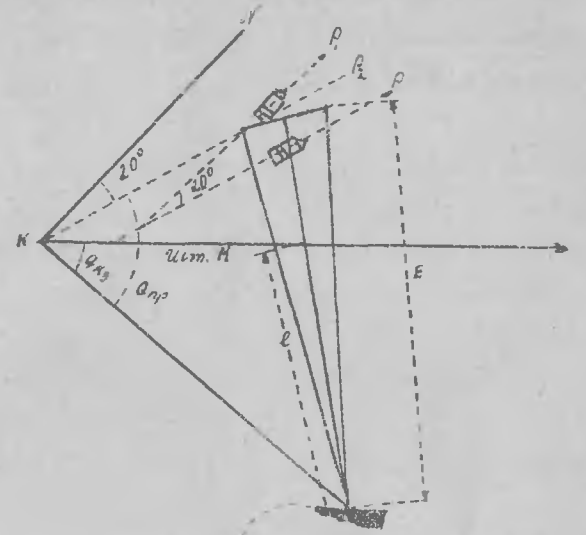
Рассмотрим сначала первое применение Q, отдельно, при уклонении от залпа надводного корабля, а потом и подлодки.

Уклонение от залпа есть маневр корабля, при котором он уклоняется от всех выпущенных торпед залпа одновременно.

А. Уклонение от залпа надводного корабля.

На чертеже 32 даны взаимные положения стреляющего и атакованного кораблей и маневр уклонения.

Атакованный корабль для выполнения маневра уклонения должен в момент залпа отвернуть от стреляющего корабля на предельный КУ с некоторым запасом.



Черт. № 32.

На чертеже показано, что, если корабль отвернет на курс КР касательный торпедному сектору, то вследствие запаздываний в передаче и исполнении приказаний и циркуляц. корабля последний будет накрыт торпедным сектором. Поэтому отворот для уклонения надо делать с учетом циркуляции атакуемого корабля, а также и запаздыв. в выполнении маневра. На чертеже этот курс уклонения будет КР1.

Следовательно курсы уклоняющего корабля в пределах от КР2 до КР1 будут гарантировать от встречи с торпедами залпа.

Этим и вытекает необходимый запас в 20° сверх предельного КУ цели.

Поэтому маневр уклонения следует производить поворотом корабля в момент залпа на КУ = Q + 20°, а величина уклонения равна УП = $Q_{пр.}$ + 20 - $Q_{кз}$.

Техника уклонения от торпедного залпа надводного корабля.

На корабле должна быть составлена таблица предельных курсовых углов на свои скорости и по данным неприятельских торпед ($V_т$ и E). Эти данные конечно будут известны только приблизительно, то скорость торпеды и ее дальность берутся в известных пределах, т.е. например допустим, что E = 35 - 40 кб.

$V_т$ = 32 - 35 уз.

Для расчета берутся те пределы диапазона, которые создают для уклоняющегося корабля худшие условия.

Поэтому на основании свойств предельного КУ для расчета таблицы нужно брать большую дальность торпеды в нашем примере - 40 кб.

Учитывая, что уменьшение скорости торпеды при острых углах встречи увеличивает, а при тупых - уменьшает предельный КУ, нужно для острых углов встречи брать меньшую скорость торпеды - 32 уз., а для тупых углов встречи - большую - 35 узлов.

Ниже приводится примерная таблица №1.

Таблица №1 *)
предельных курсовых углов.

Торпеда { $V_т$ = 32 - 35 уз. E = 40 кб.							
своя скор.	18	21	24	27	30	33	36
30°	58 кб.	60 кб.	63 кб.	65 кб.	68 кб.	70 кб.	72 кб.
45°	53	53	55	56	56	56	57
60°	45	46	45	45	44	42	38
75°	40	38	37	34	31	26	16
90°	34	32	28	25	20	13	-
115°	25	23	19	15	11	4	-

В момент залпа атакуемый корабль берет пеленг в азимутальных отсчетах и дистанцию до стреляющего корабля.

В таблице №1 по соответствующей скорости и взятому расстоянию, уменьшенному на величину возможной ошибки находится предельный КУ и атакуемый корабль увеличивает свой КУ до величины Q + 20°.

Пример:

$V_{кз}$ = 24 уз. $Q_{кз}$ = 40°

D = 49 кб.

*) Таблица №1 взята из пособия „Торпедный треугольник" капит. I р. Добротворского.

Уменьшив дистанц. на 10%

$D_1 = D - 10\% D = 49 - 5 = 44$ кб. в таблице наход.

$Q = 60°$ $УП = Q + 20 - q_{кз} = 60 + 20 - 40 = 40°$

На пеленгаторе устанав. $НУ = 60 + 20 = 80°$

В. Уклонение от торпедного залпа подлодки.

Для разрешения этого вопроса придется забежать несколько вперед, а именно: возможные дальности залпа при стрельбе с Тип будут не свыше 10–16 кб., ибо при больших дистанциях – очень мала вероятность попадания.

Поэтому для суждения о возможности выполнения маневра уклонения, составим таблицу 2, аналогичную таблице 1.

Таблица № 2.

$E = 20$ кб. $V_т = 44$ уз.		
$Q_{пр.}$ \ $V_к$	18	32
180°	12 кб.	5 кб.
150°	12	6
140°	13	6
120°	15	7
100°	17	11
80°	20	16
60°	–	23

В таблице для упрощения расчетов возьмем возможные предельные скорости атакуемого корабля 18–32 уз.

Дистанц. 10 и 16 кб. отчеркнем жирной чертой.

Из таблицы следует что:

1. Тихоходному кораблю нет смысла уклоняться от залпа,
2. выгоднее уклоняться непосредственно от следа торпеды.

2. Быстроходный корабль может уклоняться от залпа подводной лодки, при стрельбе последней с дистанций близких к предельной (16 кб.) иначе будет велик угол отворота корабля.

Глава II.

Встреча торпеды с целью определенной длины.

9. Торпедные интервалы.

Предварительно познакомимся со следующими необходимыми нам определениями: средняя траектория торпеды и среднее место торпеды.

Средней траекторией в торпедной стрельбе называется траектория торпеды при ее ходе без всяких отклонений по заданному направлению и с заданной скоростью, а положение торпеды на этой траектории, отвечающее заданному моменту называется средним местом торпеды. Разобрав эти определения, перейдем к торпедным интервалам. В торпедной стрельбе сектором средних траекторий торпед направлены под определенными углами друг к другу называемыми углами растворения (α) и в этом случае расстояние между средними местами двух смежных торпед в заданный момент называется истинным торпедным интервалом и обозначается буквой (d).

В отличие от истинного практическим торпедным интервалом будем называть расстояние между двумя смежными торпедами в заданный момент, обозначаем (dпр).

Разница между этими определениями заключается в том, что в последнем случае под dпр следует понимать расстояние между практическими положениями двух смежных торпед с учетом возможных отклонений их путей. В дальнейшем мы будем рассматривать только истинные торпедные интервалы. В торпедной стрельбе торпедные интервалы разделяются на:

а) истинный[1] торпедный интервал на окружности встречи;

б). истинный[1] предельный торпедный интервал и

в). истинный[1] интервал попадания.

Торпедным интервалом на окружности встречи называется расстояние между средними местами двух смежных торпед, выпущенных под определенным углом расхождения, при пересечении ими окружности встречи, обозначается (dк).

Предельным торпедным интервалом называется расстояние между средними местами двух смежных торпед, выпущенных под определенным углом расхождения по прохождении торпедами их дальностей, обозначается (dпр.).

---

[1]) В дальнейшем для упрощения, слово „истинный" из определения торпедного интервала опускается.

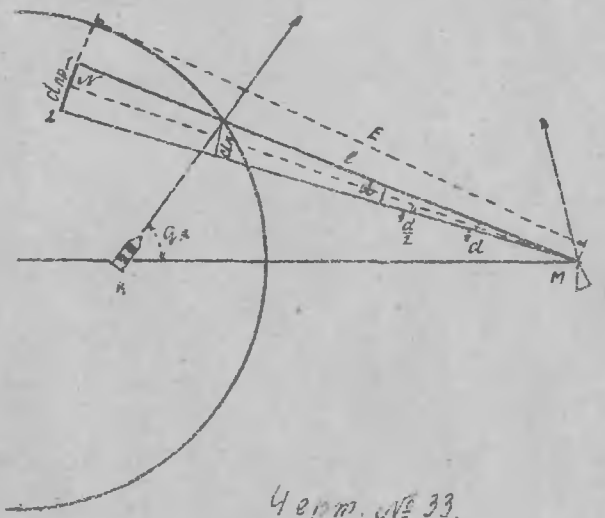
Для пояснения разобранных выше определений торпедных интервалов приведен чертеж № 33.

Из чертежа 33 легко вывести формулу предельного торпедного интервала и торпедного интервала на окружности встречи.

Из △ MM_1 или △ MN_2

$$\frac{d_{пр}}{2} = E \sin\frac{\alpha}{2} \quad \text{откуда}$$

$$d_{пр.} = 2E \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \qquad (23).$$



Черт. № 33.

В формуле 23 подставив вместо дальности торпеды ее путь с до окружности встречи, получим формулу торпедного интервала на окружности встречи.

$$d_к = 2l \sin\frac{\alpha}{2} \qquad (24).$$

Для практических расчетов по формулам 23 и 24 составлена таблица №18*) элементов торпедного треугольника, в которой по углу растворения (α) и, пути торпеды или дальности ее отыскивается интервал на окружности встречи или предельный торпедный интервал.

Пример на пользование таблицей.

Дано $\alpha = 2°$

$\ell = 26$ кб.

$E = 42$ кб.

Найти: $d_к$ и $d_{пр}$.

Решение: в таблице №18 по $\alpha = 2$, $\ell = 26$ и $E = 42$ кб. находится

$d_к = 0{,}91$ кб.

$d_{пк} = 1{,}47$ кб.

Для выяснения практического применения $d_к$ и $d_{пр}$. следует разобрать еще один вид торпедного интервала — интервал попадания.

Интервал попадания.

Если торпедные интервалы на окружности встречи и предельный не зависят от положения цели и ее длины, то интервал попадания наоборот зависит от положения цели (относительно стреляющего корабля) и ее длины.

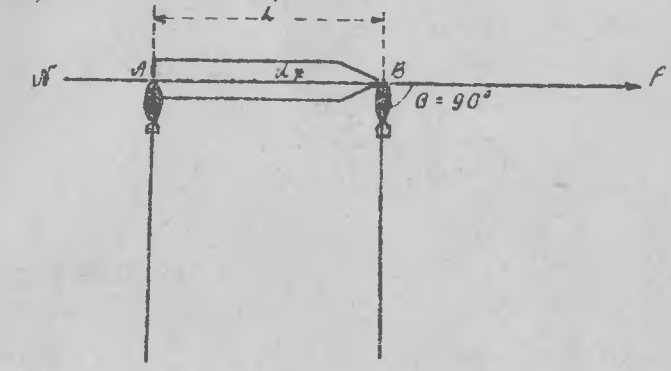
Интервалом попадания называется расстояние по перпендикуляру между двумя средними траекториями параллельно идущих торпед, из которых

*) „Таблицы элементов торпедного треугольника" изд. 1946 г.

одна попадает в оконечность, а другая в оконечность цели. Обозначается d_z.

Поясним сказанное чертежом.

По курсу NF движется корабль AB с определенной скоростью $V_к$ чертеж №34.

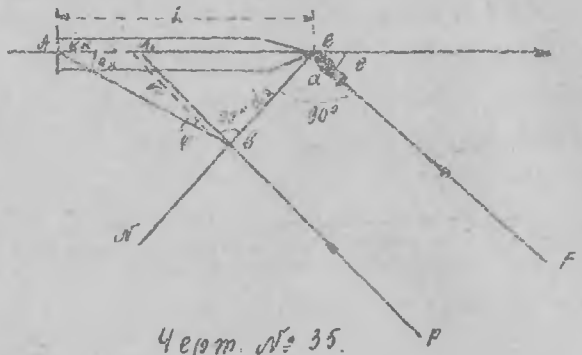


Черт. №34.

Для того, чтобы попасть под углом встречи 90° двумя параллельно идущими торпедами, их следует разнести на расстояние друг относительно друга равное длине корабля $AB = L$, и в этом случае интервал попадания $d_z = L$. Торпеды одновременно попадают в корабль.

Поскольку разобранный выше случай является частным, то, чтобы составить себе общее представление о величине интервала попадания, разберем еще два примера; один для острого, а другой для тупого угла встречи.

На чертеже 35 показан интервал попадания для острого угла встречи.



Черт. № 35.

Как видно из чертежа первой попадает торпеда (а) в форштевень цели (В). Для попадания в ахтерштевень (А), другую торпеду (в) следует расположить на линии $BN \perp BF$ траектории первой торпеды (а), в таком расстоянии, чтобы отрезок путей ахтерштевня (А) и торпеды (в) были пропорциональны скоростям цели и торпеды.

Построив у точки (А) скоростной треугольник для того-же угла встречи θ и проведя линию пеленга в нем до пересечения с прямой BN, найдем место второй торпеды (в). Эта торпеда обязательно попадет в ахтерштевень цели (А) так как пути:

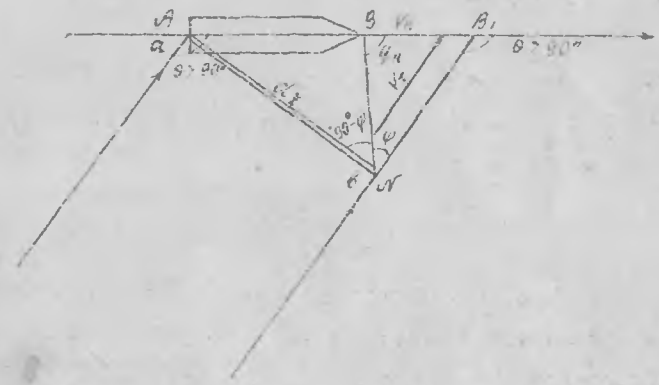
$$\frac{AA_1}{bA_1} = \frac{V_K}{V_T}$$

Затем для нахождения траектории торпеды (в) следует через точку (в) провести прямую $AP \parallel BF$.

Тогда расстояние Bb и будет искомым интервалом попадания d_x.

Для тупого угла встречи построение интервала попадания аналогично предыдущему случаю за исключением того, что первой в этом случае попадает торпеда направленная в ахтерштевень (А) цели AB, а при помощи скоростного треугольника отыскивается место торпеды попадающей в форштевень цели (В).

Ниже дается соответствующий чертеж № 36 который понятен без пояснений.



Черт. № 36

Пользуясь чертежами 35 и 36 легко вывести формулу интервала попадания.

Из чертежа 35 видно, что в $\triangle ABb$ стороны

$$\frac{Bb}{AB} = \frac{\sin q_K}{\sin(90^\circ+\varphi)} = \frac{\sin q_K}{\cos\varphi},$$

подставив вместо сторон Bb и AB их значения получим: $\frac{d_x}{L} = \frac{\sin q_K}{\cos\varphi}$, откуда

$$d_x = L\,\frac{\sin q_K}{\cos\varphi} \qquad (25)$$

Эта же формула аналогично выводится из чертежа 36.

Из ΔABB стороны $\frac{AB}{AB} = \frac{\sin(180^\circ - q_к)}{\sin(90^\circ - \varphi)} = \frac{\sin q_к}{\cos\varphi}$

отсюда заменяя стороны Δ их значениями, получим ту же формулу

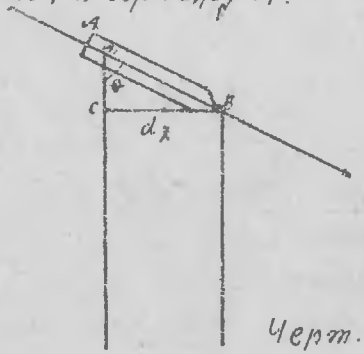
$$\frac{d_x}{L} = \frac{\sin q_к}{\cos\varphi} \quad \text{и} \quad d_x = L\frac{\sin q_к}{\cos\varphi}$$

Для анализа в формуле 25 удобнее $\cos\varphi$ перевести в КУ цели.

Из тригонометрии известно, что $\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha}$. Пользуясь этой зависимостью заменим $\cos\varphi$ через $\sqrt{1-\sin^2\varphi}$, а $\sin^2\varphi$ через $m^2\sin^2 q_к$, тогда формула (25) примет такой вид:

$$d_z = L\frac{\sin q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} \qquad (26).$$

Учитывая то обстоятельство, что траектории торпед, попадающих в форштевень и ахтерштевень цели определяются непосредственно углом встречи, интервал попадания следует определить в зависимости и от угла встречи. Для чего обратимся к чертежу 37.



Черт. № 37.

Из ΔA_1BC

1. $A_1B = \frac{dz}{\sin\theta}$
2. $AA_1 = A_1Cm = A_1B\cos\theta m = \frac{dz}{\sin\theta}\cdot\cos\theta\, m$ далее
3. $A_1B + AA_1 = L$ или
4. $\frac{dx}{\sin\theta} + m\cos\theta\frac{dz}{\sin\theta} = L$ откуда вынося $\frac{dz}{\sin\theta}$ за скобки получим.
5. $\frac{dz}{\sin\theta}(1 + m\cos\theta) = L$ отсюда
6. $dz = L\frac{\sin\theta}{1+m\cos\theta}$ ..... (27)

Сравнивая формулы 26 и 27 найдем, что:

$$\frac{\sin q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} = \frac{\sin\theta}{1+m\cos\theta}$$

далее заменив эти значения коэффициентом P получим формулу интервала попадания в следующем виде

$$d_z = P\cdot L \qquad (28)$$

В таблице элементов торпедного треугольника приводятся, в зависимости от отношения скоростей цели и торпеды и угла встречи, значения коэф. P.

Пример на пользование таблицами 14.

Дано $m = 0,625$

$\theta = 80^\circ$

$L = 1,2$ кб.

Найти d_z.

В таблице по отнош. скоростей 0,625 и $\theta = 80^\circ$ находим $P = 0,89$, откуда $d_z = 0,89 \times 1,2 = 1,07$ кб.

Зависимость интервала попадания от L.

Эта зависимость ясна из рассмотрения обоих формул интервала попадания: – интервал попадания прямо пропорционален длине корабля L

Зависимость интервала попадания от отношения скоростей.

Эта зависимость может быть разобрана: а) при постоянном курсовом угле и

б) при постоянном угле встречи.

а) Зависимость интервала попадания от (m) при постоянном КУ цели.

Из формулы 26 видно, что увеличение m вызывает рост интервала попадания.

⊗ Для определения скорости возрастания d_z в зависимости от (m) следует продифференцировать формулу 26 по (m).

$$\frac{dd_z}{dm} = \frac{L\,d\left(\frac{\sin q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\right)}{dm} = -L\left[\frac{\sin q_к \cdot \frac{d\cdot\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}{dm}}{1-m^2\sin^2 q_к}\right] =$$

$$= -L\left[\frac{\sin q_к \cdot \frac{1}{2}(1-m^2\sin^2 q_к)^{-\frac{1}{2}}(-2m\sin^2 q_к)}{1-m^2\sin^2 q_к}\right] =$$

$$= -L\left(\frac{-\frac{m\cdot\sin^3 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}}{1-m^2\sin^2 q_к}\right) = L\,\frac{m\sin^3 q_к}{(1-m^2\sin^2 q_к)\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}};$$

Следовательно:

$$\frac{dd_z}{dm} = L\,\frac{m\sin^3 q_к}{(1-m^2\sin^2 q_к)\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} \qquad \ldots\ldots (29).$$

Для проверки произведем следующие вычисления:

Пусть дано $m = 0,5$

$q_к = 40\,3/4$

$L = 1$ кб и

$d_m = 0,2$

Найти dd_z.

$$dd_z = L\,\frac{m\sin^3 q_к}{(1-m^2\sin^2 q_к)\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}\,dm =$$

$$= \frac{0,5\times 0,27}{0,89\times 0,94}\times 0,2 = \frac{0,14}{0,84}\times 0,2 = 0,167\times 0,2 = 0,033 \text{ кб}.$$

Сравним это с табличными данными.

$q_к = 40\,3/4$ соответ. $\theta = 60°$ и $d_z = 0,69$ кб. при увеличении m до 0,7; $q_к = 40\,3/4$ будет соответствовать $\theta_1 = 67°$ и $d_z = 0,72$ кб. отсюда $dd_z = 0,72 - 0,69 = 0,03$. Разница в 0,003 незначительна

Исследование формулы (29)

1. при $m = 0$ $\frac{dd_z}{d_m} = L\frac{0}{1} = 0$

скорость возрастания минимальна.

2. С увеличением m от 0 до величины равной $\frac{1}{\sin q_к}$

$$\frac{dd_z}{d_m} = L\,\frac{\frac{1}{\sin q_к}\sin^3 q_к}{\left(1-\frac{\sin^2 q_к}{\sin^2 q_к}\right)\sqrt{1-\frac{\sin^2 q_к}{\sin^2 q_к}}} = \frac{L\sin^2 q_к}{0} = \infty$$

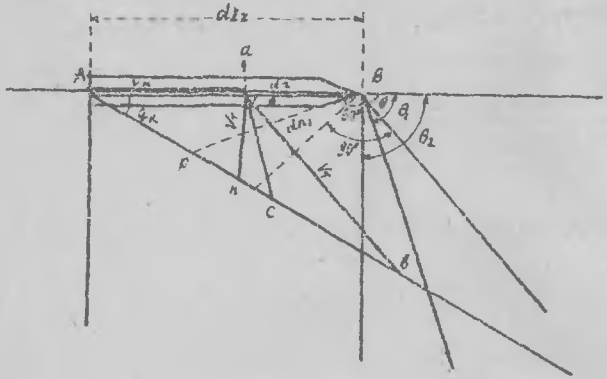
скорость возрастания увеличивается до бесконечности

При значении $m = \frac{1}{\sin q_к}$ заданный постоянный $q_к$ становится критическим КУ стрельбы. Это исследование дает возможность сделать следующий вывод.

При постоянном КУ цели с увеличением (m) от (0) до значения $\frac{1}{\sin q_к}$ интервал попадания, от минимального значения, равного $\sin q_к$, непрерывно возрастает до бесконечности.

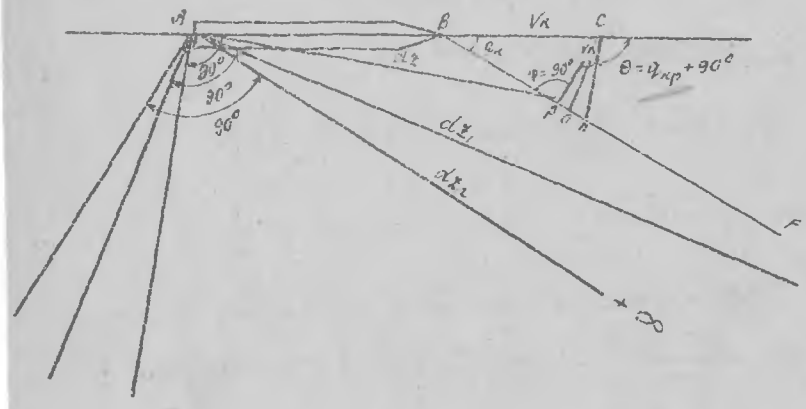
Приводимые ниже чертежи №№ 38 и 39 наглядно подтверждают данный вывод.

Для $\theta < 90°$



Черт. № 38.

Для $\theta > 90°$



Черт. № 39.

На чертежах графическим путем, при помощи скоростных треугольников: чертеже № 38, $\triangle$ Aав; Aас Aап и чертеже 39 $\triangle$ ВСп; ВСО и ВСР показан рост интервала попадания в зависимости от увеличения (n).

б). Зависимость интервала попадания от (m) при постоянном угле встречи.

Анализируя формулу

$$dl_z = L\frac{\sin\theta}{1+m\cos\theta}$$

можно заключить, что возрастание (m) уменьшает dl_z и скорость убывания dl_z в этом случае:

$$\frac{ddl_z}{dm} = -\frac{\sin\theta\,\frac{d(1+m\cos\theta)}{dm}}{(1+m\cos\theta)^2} = -\frac{\sin\theta\cdot\cos\theta}{(1+m\cos\theta)^2},$$

$$\frac{ddl_z}{dm} = -\frac{\sin\theta\cdot\cos\theta}{(1+m\cos\theta)^2} \qquad (30)$$

Исследование равенства (30).

1. При $m=0$; $\frac{ddl_z}{dm} = -\sin\theta\cdot\cos\theta$; $\alpha_к = \theta$

скорость убывания максимальна и $dl_z = L\sin\alpha_к$

2. С увеличением (m) от 0 до бесконечности $\frac{ddl_z}{dm} = -\frac{\sin\theta\cdot\cos\theta}{\infty}$ скорость убывания уменьшается до 0.

$dl_{z\,m=\infty} = L\frac{\sin\theta}{1+\infty} = 0.$

Данное исследование подкреплено примерами, которые для удобства сведены в таблицу:

θ	$\Delta m = 0,2$			
	$m = 0,025$		$m_1 = 1,775$	
	d_z	$-\Delta d_z$	d_{z_1}	$-\Delta d_z$
70°	0,93	0,06	0,59	0,03

с увеличением отношения скоростей до 1,775 скорость убыв. d_z уменьшилась в два раза.

На основании исследования и таблицы, приходим к выводу:

При постоянном угле встречи и увеличении отношения скоростей от (0) до ∞, интервал попадания непрерывно убывает от величины равной $L \sin q_к$ до (0)

⊛ Зависимость интервала попадания от курсового угла при постоянном отношении скоростей.

Для определения скорости изменения d_z в зависимости от $q_к$ дифференцируем равенство (26).

$$\frac{d d_z}{d q_к} = L \frac{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} \cdot \frac{d \sin q_к}{d q_к} - \sin q_к \frac{d\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}{d q_к}}{1-m^2\sin^2 q_к} =$$

$$= L \frac{\cos q_к \sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + \sin q_к \frac{m^2 \sin q_к \cos q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}}{1-m^2\sin^2 q_к} =$$

$$= L \cos q_к \left(\frac{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к} + \frac{m^2\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}}{1-m^2\sin^2 q_к} \right) = \left[\frac{\frac{1-m^2\sin^2 q_к + m^2\sin^2 q_к}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}}{1-m^2\sin^2 q_к} \right] L\cos q_к =$$

$$= L \cos q_к \left(\frac{1}{\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}\,(1-m^2\sin^2 q_к)} \right) = \frac{L \cos^2 q_к}{(1-m^2\sin^2 q_к)\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}}$$

$$\frac{d d_z}{d q_к} = \frac{L \cos q_к}{(1-m^2\sin^2 q_к)\sqrt{1-m^2\sin^2 q_к}} \quad \ldots\ldots\ldots (31)$$

Исследование формулы (31).

1. При $q_к = 0$; $\frac{d d_z}{d q_к} = L$ скорость возрастания минимальна. Интервал попадания равен $d_z = L \frac{2}{\sqrt{1-0}} = 0$ формула показывает, что длина цели здесь не влияет на величину d_z и, кроме того не учтена ширина цели (B). Если учесть ширину цели, то относит ее угол встречи будет равен 90° и

$$d_z = \frac{B \sin 90°}{1+m\cos 90°} = B$$

2. С увеличением К.У от 0° до 90° $\frac{d d_z}{d q_к}$ уменьшится до величины

$$\frac{d d_z}{d q_к}_{q_к = 90°} = \frac{0}{(1-m^2)\sqrt{1-m^2}} = 0$$

Скорость возрастания d_z уменьшится до 0 следовательно в этом случае d_z имеет максимум.

$$d_{z\,max} = \frac{L \sin 90°}{\sqrt{1-m^2\sin^2 90°}} = \frac{L}{\sqrt{1-m^2}}$$

3. С увеличением К.У. от 90° до 180° $\frac{d d_z}{d q_к}$ изменяет знак на отрицательный и возрастет до величины

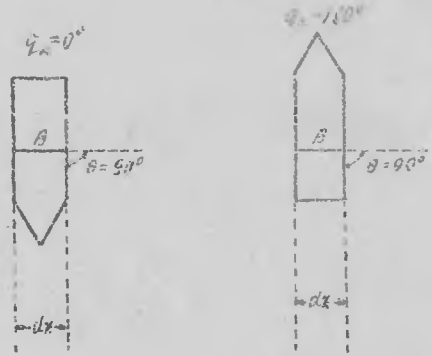
$$\frac{d d_z}{d q_к}_{q_к = 180°} = \frac{L \cos 180°}{(1-m^2\sin^2 180°)\sqrt{1-m^2\sin^2 180°}} = -L$$

Интервал попадания в этих условиях начинает уменьшаться до величины равной ширине цели, т.е. таковы как и при $q_к = 0$.

На основании произведенного исследования делаем следующий вывод.

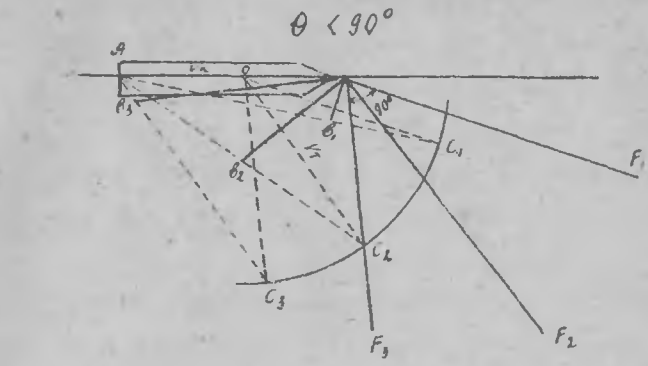
При постоянном отношении скоростей, с увеличением курсового угла цели от 0° до 180° интервал попадания от минимального значения, равного ширине цели (B) при $q_ц = 0$, возрастает на К.У. 90° до максимума, равного $\left(\frac{L}{\sqrt{1-m^2}}\right)$, затем опять уменьшается до прежнего минимального значения (B) при $q_ц = 180°$.

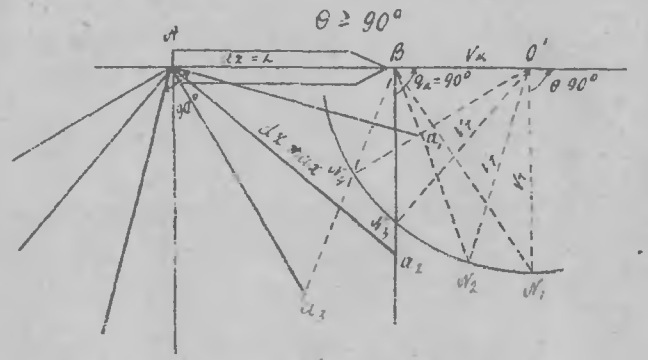
Разобранную выше зависимость интервала попадания от К.У. цели можно показать и при помощи чертежей №№ 40 и 41.



Чертеж № 40.

На чертеже 40 при К.У. 0° и 180°, относительно ширины цели (B), торпеды имеют угол встречи 90°, а поэтому на основании разобранного ранее (см. черт. 34) интервал попадания равен ширине корабля.





Чертеж № 41.

Для курсовых углов цели большие 0° и меньшие на чертеже 41 даны два случая 1) при $\theta < 90°$ и
2) при $\theta \geq 90°$.

Графическое построение интервала попадания производится так:

1. Для $\theta < 90°$.

Так как первой попадает торпеда, направленная в оконечность цели, то от оконечности по курсу корабля откладывается вектор скорости цели ($V_к$).

из конца его (О) радиусом скорости торпеды ($V_т$) проводится дуга $C_1C_2C_3$ и строятся скоростные треугольники: AOC_1; AOC_2; AOC_3. Из фортштевня цели (В) проводятся прямые BF_1; BF_2 и BF_3 параллельные сторонам OC_1; OC_2; OC_3 скоростных $\Delta\Delta$. Тогда перпендикуляры, восстановленные из точки (В) к прямым BF_1; BF_2 и BF_3 и проведенные до пересечения со сторонами AC_1; AC_2 и AC_3 данных скоростных треугольников и будут интервалами попадания. Из чертежа видно, что интервал попадания $Bв_1 < Bв_2 < Bв_3$, т. е. с увеличением курсового угла до величин, соответствующих $\Theta = 90°$ они возрастают до величины, равной длине L корабля AB.

2. Для $\Theta \geq 90°$

Графическое построение производится аналогично первому случаю, за исключением того, что скоростные $\Delta\Delta$ BO_1N_1, BO_2N_2; BO_1N_3 и BO_1N_4 строятся у фортштевня цели.

Интервал попадания $Ad_1 < Ad_2$, а $Ad_2 > Ad_3$, интервал попадания Ad_2 соответствующий $\Psi_к$ является максимальным.

Практическое применение торпедных

а) Торпедные интервалы применяются для определения возможности попадания в цель кораблях по площадям сектором.

При торпедной стрельбе сектором с заданным углом расстворения (α) обеспеченность (возможность) попадания торпедами в корабль определенной длины определяются отношением $\frac{d_z}{d_к}$.

Например

$d_z = 1,2$ кб.

$d_к = 1,2$ кб. то $\frac{d_z}{d_к} = 1,0$ т.е. в корабль обеспечено попадание 1-й торпедой, но возможно и двумя.

Если отношение $\frac{d_z}{d_к} = 2,0$, то это означает, что обеспечено попадание 2-мя торпедами, но возможно попадание и 3-х торпед в том случае, когда 1-я торпеда попадает в фортштевень 2-я торпеда в середину корабля, 3-я торпеда в ахтерштевень корабля.

б) Торпедные интервалы применяются и при расчете позиции залпа по углу встречи.

Например стрельба производится сектором расстворением 1° торпедами с дальностью 40 кб цели длиной 1 кб. Определить позиции залпа по углу встречи для скоростей цели и торпеды $V_ц = 21$ уз, $V_т = 35$ уз.

Находим отношение скоростей $m = 0,599 \approx 0,6$ затем по $\alpha = 1°$ и $\ell = 40$ кб определяем из табл. $d_{пр} = 0,7$ кб. В табл. №14 по $m = 0,6$ и $d_{пр} = 0,7$ отыскиваем наименьший и наибольший углы встречи при которых $d_z = d_{пр}$.

В данном примере это будет $\Theta_{min} = 63°$, Θ_{max} При этих позициях от 63° до 163° по углу встречи

$$d_z \geq d_{пр}.$$

в) Интервал попадания применяется и при расчете допустимой ошибки в Φ ($\Delta\Phi_2$) о чем будет сказано ниже.

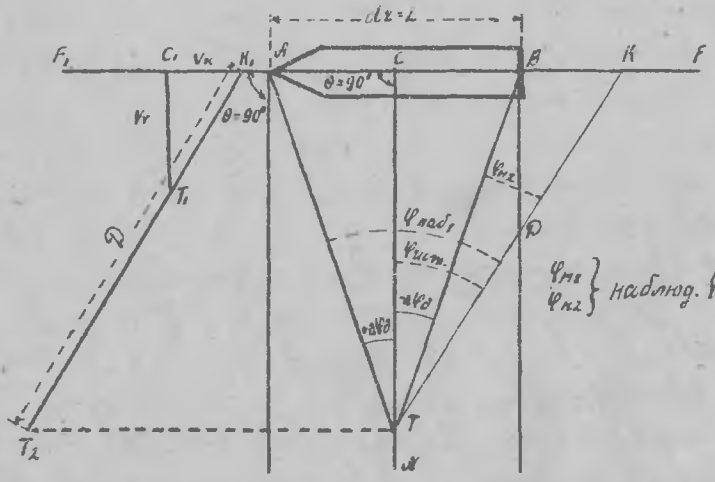
10. Допустимая ошибка в φ

Определение и графическое изображение допустимой ошибки в угле упреждения.

При стрельбе одной торпедой по цели определенной длины, при некоторых ошибках в угле упреждения, торпеда, нацеленная в середину корабля попадает в оконечность или ахтерштевень ее.

Такие ошибки в угле упреждения носят название допустимых от ошибок в φ и обозначаются $\pm\Delta\varphi_д$

Из сказанного определения следует, что торпеда при своем движении до цели не должна выходить из границы интервала попадания, чтобы наглядно представить это обратимся к чертежу № 42. На чертеже показана допустимая ошибка в φ для угла встречи 90°.



Черт. № 42.

Построение допустимой ошибки в φ производится следующим образом.

По курсу цели F_1 строится корабль AB и соответствующий данному углу встречи (на нашем примере 90°) интервал попадания Δx. Интервал попадания делится пополам, этим определяется точка встречи (C) торпеды с серединой цели.

Из точки (C) проводится средняя траектория истинного направления торпеды MC. На том же курсе F_1, строится скоростной треугольник $K_1C_1T_1$ по заданным скоростям $V_к$, $V_т$ и углу встречи ϑ (в нашем примере ϑ = 90°). По направлению стороны K_1T_1 скоростного треугольника в масштабе расстояний откладывается заданная дальность торпедной стрельбы (D) – прямая K_1T_2. Из точки T_2 проводится прямая, параллельная курсу цели до пересечения со средней траекторией MC. Точка пересечения T – место выпуска торпеды. Проведя прямую $TK \parallel T_2K_1$, определим точку наводки, т.е. место середины корабля в момент выпуска торпеды – (K). Треугольник MCT и будет являться *торпедным треугольником* отвечающим заданным условиям стрельбы. Соединяя точку (T) с оконечностью и ахтерштевнем цели, получим ∠ATC и ∠CTB, которые и будут искомыми допустимыми ошибками в угле упреждения.

Из чертежа видно, что

$+\Delta\varphi_д = \varphi_н - \varphi_{ист}$ и $\varphi_{н1} > \varphi_{ист}$ ошибка положительная

$-\Delta\varphi_д = \varphi_{н2} - \varphi_{ист}$ и $\varphi_{н2} < \varphi_{ист}$ ошибка отрицательная

При остром и тупом угле встречи построе
допустимых ошибок в Ф аналогично предыдущ
случаю, поэтому чертежи этих построений
и 44 приводятся ниже без пояснений.

Сравнивая величины допустимых ошибок в Ф
чертежах №№ 43 и 44 приходим к заключению,
при острых углах встречи $+(\Delta\varphi\theta) > -(\Delta\varphi\theta)$, а при
ных углах встречи $+(\Delta\varphi\theta) < -(\Delta\varphi\theta)$.

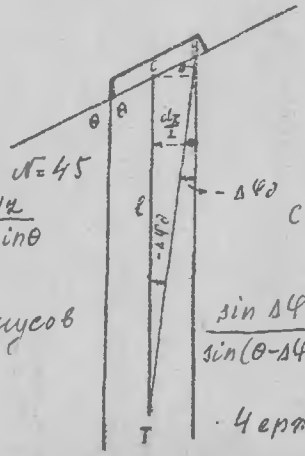
Принимая во внимание, что при стрельбе бо
ны ошибки любого знака, поэтому в расчетах
принимать только наименьшую по абсолютной величине допу
ошибку в Ф. На чертежах это показано уменьшением большей
величину заштрихованного сектора.

Вычисление допустимой ошибки в угле упреждения.

Вычисление меньшей из допустимых ошибок в Ф требует отде
расчетов для острого и тупого углов встречи.

1. Вычисление $(\Delta\varphi\theta)$ при $\theta < 90°$.

При остром угле встречи следует вычислять абсолютную ве
отрицательной ошибки в Ф.



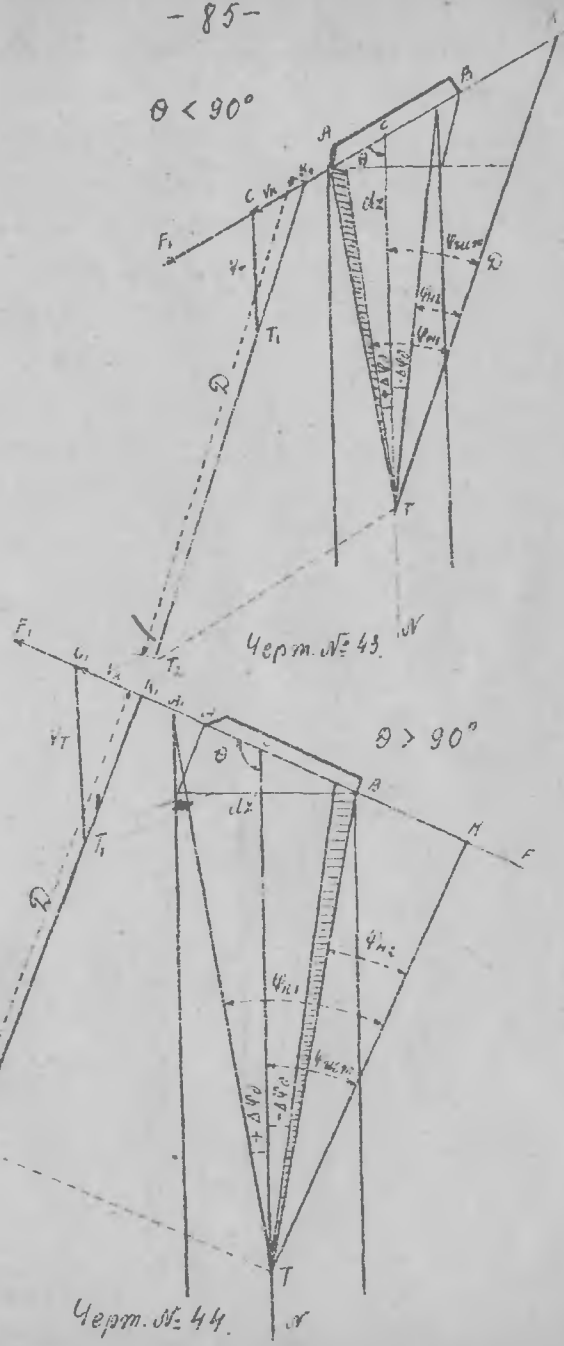
Из Δ TBC черт. №45
сторона $BC = \frac{dz}{2\sin\theta}$

сторона TC = e.

По теореме синусов

$$\frac{\sin\Delta\varphi\theta}{\sin(\theta-\Delta\varphi\theta)} = \frac{dz}{2\sin\theta \cdot e}$$

Черт. №45.



Черт. №43.

Черт. №44.

$$\frac{dl_x}{2\ell \sin\theta} = \frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin\theta\cos\Delta\varphi_\partial - \sin\Delta\varphi_\partial\cos\theta} = \frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin\Delta\varphi_\partial(\sin\theta\,\mathrm{ctg}\Delta\varphi_\partial - \cos\theta)}$$

отсюда:

$$\frac{dl_x}{2\ell\sin\theta} = \frac{1}{\sin\theta\,\mathrm{ctg}\Delta\varphi_\partial - \cos\theta}$$

или

$$\sin\theta\,\mathrm{ctg}\Delta\varphi_\partial - \cos\theta = \frac{2\ell\sin\theta}{dl_x}$$

откуда

$$\sin\theta\,\mathrm{ctg}\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell\sin\theta}{dl_x} + \cos\theta$$

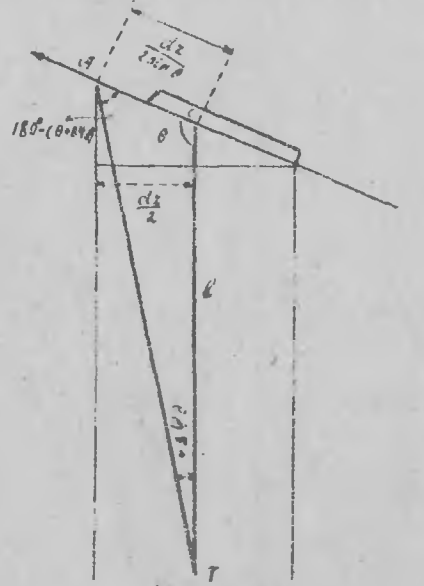
и

$$\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell\sin\theta}{dl_x\sin\theta} + \frac{\cos\theta}{\sin\theta}$$

и окончательно

$$\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell}{dl_x} + \mathrm{ctg}\,\theta \quad \text{для } \theta < 90^\circ$$

2. Вычисление $\Delta\varphi_\partial$ при $\theta > 90^\circ$



Черт. № 46

При тупом угле встречи вычисляется абсолютная величина положительной ошибки $\Delta\varphi_\partial$. Так-же как и в предыдущем случае из Δ TAC по теореме синусов

$$\frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin[180^\circ-(\theta+\Delta\varphi_\partial)]} = \frac{dl_x}{2\ell\sin\theta}$$

упрощая получим

$$\frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin(\theta+\Delta\varphi_\partial)} = \frac{dl_x}{2\ell\sin\theta}$$

раскрывая в знаменателе левой части скобки, получим

$$\frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin\theta\cdot\cos\Delta\varphi_\partial + \sin\Delta\varphi_\partial\cos\theta} = \frac{dl_x}{2\ell\sin\theta}$$

выносим в левой части равенства за скобки $\sin\Delta\varphi_\partial$

$$\frac{\sin\Delta\varphi_\partial}{\sin\Delta\varphi_\partial(\sin\theta\,\mathrm{ctg}\Delta\varphi_\partial + \cos\theta)} = \frac{dl_x}{2\ell\sin\theta}$$

откуда

$$\sin\theta\,\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial + \cos\theta = \frac{2\ell\sin\theta}{dl_x}$$

и

$$\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell\sin\theta}{dl_x\sin\theta} - \frac{\cos\theta}{\sin\theta} = \frac{2\ell}{dl_x} - \mathrm{ctg}\,\theta$$

и

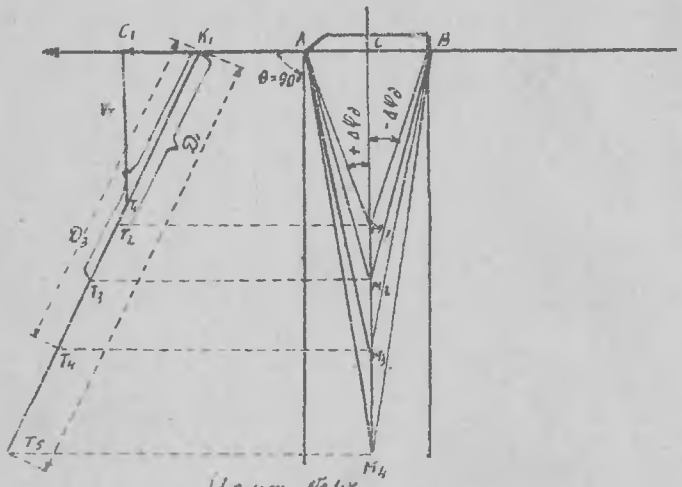
$$\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell}{dl_x} - \mathrm{ctg}\,\theta \quad \text{при } \theta > 90^\circ$$

Таким образом для $\theta \lessgtr 90^\circ$

$$\mathrm{ctg}\,\Delta\varphi_\partial = \frac{2\ell}{dl_x} \pm \mathrm{ctg}\,\theta \qquad (52)$$

Зависимость допустимой ошибки в φ от D; Θ и m.

Зависимость $\Delta\varphi_д$ от дистанции наиболее просто может быть выявлена графическим путем.



Черт. №47.

На чертеже 47 для удобства исследования взят угол встречи 90°.

Из чертежа видно, что при постоянном m и Θ с с увеличением дистанции, допустимая ошибка в φ уменьшается и наоборот.

Для определения влияния угла встречи и отношения скоростей построим следующую диаграмму.

В диаграмме, для сравнения кривых $\Delta\varphi_д$, возьмем два отношения скоростей $m_1 = 0,5$ и $m_2 = 1,0$. Длина цели 1,0 кб. и $D = 10$ кб.

Вычисление $\Delta\varphi_д$ для удобства расположения в виде нижеследующей таблицы №1 и №2.

Таблица №1. $m_1 = 0,5$

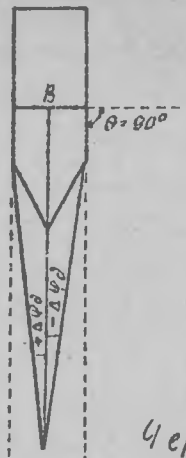
Θ	$q_к$	$\frac{e}{D}$	e	$2e$	d_x	$\frac{2e}{d_x}$	$\pm ctg\Theta$	$ctg\Delta\varphi_д$	$(\Delta\varphi_д)$
0°	0°	0,67	6,7кб.	13,4кб.	0				0
30°	20°	0,69	6,9	13,8	0,35	39,4	+1,73	41,13	1 1/2°
60°	41°	0,77	7,7	15,4	0,69	22,3	+ 0,58	22,88	2 1/2°
90°	63 1/2°	0,89	8,9	17,8	1,00	17,8	+0	17,8	3 1/4°
120°	90°	1,15	11,5	23,0	1,16	19,8	+0,58	20,38	2 3/4°
150°	126°	1,62	16,2	32,4	0,88	36,8	+1,73	38,53	1 1/2°
180°	180°	2,00	20,0	40,0	0	∞	∞	∞	0

Таблица №2. $m_2 = 1,0$.

Θ	$q_к$	$\frac{e}{D}$	e	$2e$	d_x	$\frac{2e}{d_x}$	$\pm ctg\Theta$	$ctg\Delta\varphi_д$	$(\Delta\varphi_д)$
0°	0°	0,50	5,0	10,0	0				0°
30°	15°	0,52	5,2	10,4	0,27	38,6	+1,73	40,33	1 1/2°
60°	30°	0,58	5,8	11,6	0,58	20,0	+0,58	20,58	2 3/4°
90°	45°	0,707	7,07	14,14	1,00	14,14	± 0	14,14	4°
120°	60°	1,00	10,0	20,0	1,73	11,6	+0,58	12,18	4 3/4°
150°	75°	2,07	20,1	40,2	3,73	10,7	+1,73	12,43	4 1/2°
180°	90	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание: В таблицах №№ 1 и 2 для $\Theta = 0°$ и 180° $\Delta\varphi_д$ показано 0° потому, что не учтена ширина цели

При углах встречи 0° и 180° работающей частью является ширина цели, относит. которой $\Theta = 90°$ см. черт. №48 и $ctg\Delta\varphi_д = \frac{2e}{d_x}$ где d_x найден по $\Theta = 90°$ и ширине корабля B.

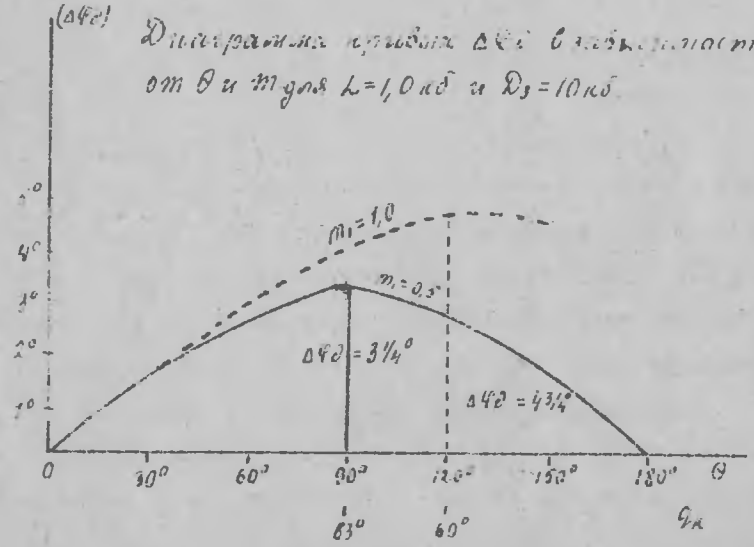


Черт. № 48

По данным таблиц №№ 1 и 2 построим диаграмму.

На основании таблиц 1 и 2 и диаграммы приходим к следующим выводам:

1. Для средних отношений скоростей $m_1 = 0,5$ с увеличением угла встречи от 0° до 180° допустимая ошибка в Ф возрастает до максимума при угле встречи 90°.



затем начинает убывать до минимального значения при угле встречи 180°.

2. При больших отношениях скоростей $m_2 = 1,0$ характер изменения допустимой ошибки в Ф другой, и максимального значения она достигает при угле встречи 120°, а затем начинает убывать.

3. Для (m) в пределах от 0,5 до 1,0 допустимая ошибка в Ф достигает максимального значения при $q_к$ в пределах от 83 до 60°.

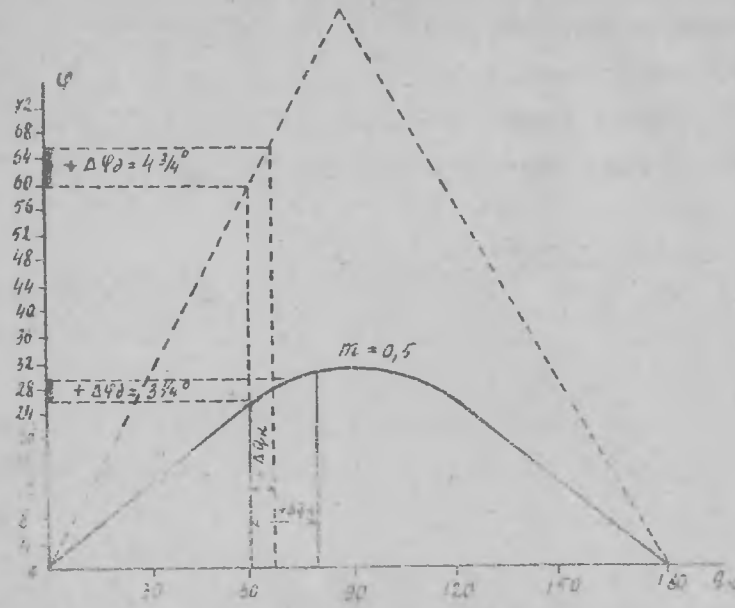
4. При постоянном угле встречи с увеличением отношения скоростей допустимая ошибка ошибка в Ф возрастает.

На первый взгляд последний вывод создает такое впечатление, что при больших отношениях скоростей создаются лучшие условия стрельбы, но этот взгляд является ошибочным.

Для пояснения приводится диаграмма кривых Ф на различных КУ в зависимости от отношения скоростей.

На диаграмме взят $q_к = 60°$ и на кривых Ф для m = 0,5 и 1,0 показано влияние соответств. Δφ на величину перекрываемой ошибки в $q_к$. Из диаграммы видно, что хотя допустимая ошибка в Ф и возрастает при увеличении отношения скоростей, но перекрываемые ею ошибки в КУ уменьшаются.

Заканчивая разбор допустимой ошибки в Ф заметим, что она имеет большое применение для расчета позиции залпа при прицельных стрельбах.



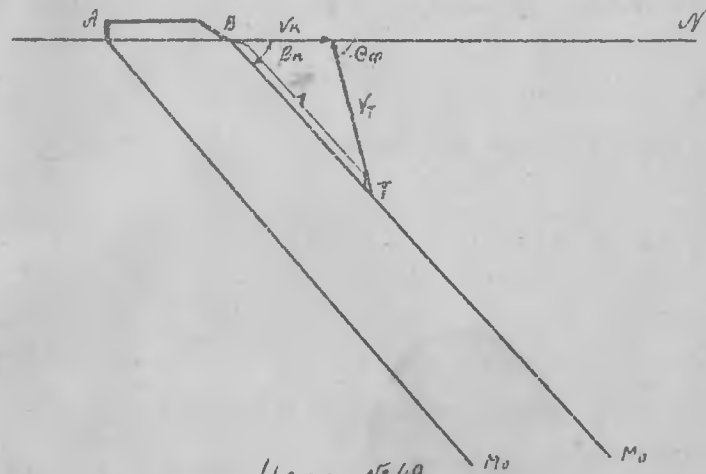
II. Полоса попадания и ее практическое применение

Полосой попадания называется площадь (полоса) водного пространства, при нахождении в пределах которой торпеды встречаются с целью при заданных величинах отношения скоростей цели и торпеды.

Направление полосы попадания ($B_п$) определяется курсовым углом цели, соответствующим для данного отношения скоростей цели и торпеды практическому углу встречи ($\theta_{пр}$). Находится в таблице №13. Для пояснения приведенных определений разберем чертеж 49.

На чертеже по курсу AN от прицеливания цели (B) отложен вектор скорости ее $V_к$. Из конца вектора $V_к$ под заданным углом встречи ($\theta_{пр}$) по направлению

обратному траектории торпеды, откладываем вектор скорости торпеды соединив затем концы векторов $V_к$ и $V_т$ прямой BM₀ получим геометрическое место точек торпед попадающих в сооружение цели (AB).



Черт. №49.

В скоростном треугольнике TBC сторона TB является относительной скоростью торпеды ⇒ отсюда прямая BM₀ будет относительным путем торпеды попадающей в сооружение корабля AB.

Проводя из оконечностей A цели (AB) прямую AM₀ и BM₀ получим геометрическое место точек торпед попадающих в оконечность корабля и соответствующий относительный путь торпеды.

Тогда полоса ограничения параллельными прямыми AM₀ и BM₀ и будет полосой попадания.

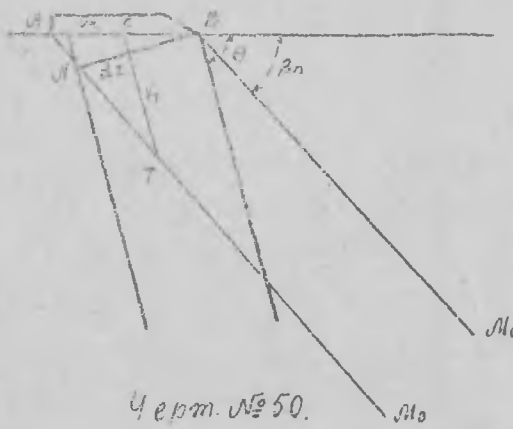
Направление полосы попадания β_n по данному отношению скоростей цели торпеды и углу встречи θ определяется в таблице № 13 элементов торпедного треугольника. Пользование таблицей не требует особых пояснений. Таким образом направление полосы попадания β_n может быть найдено двумя путями:

а) Из таблицы 13 и

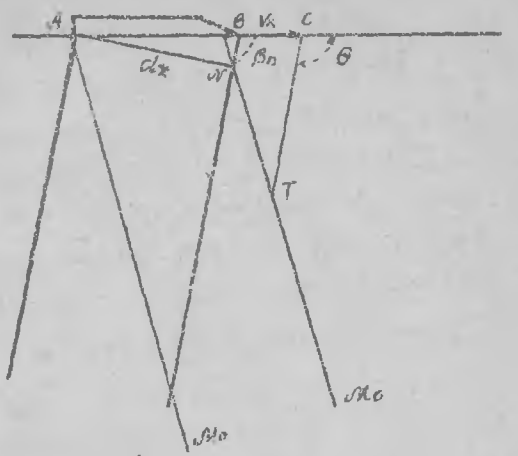
б) графическим построением, как показано на чертеже № 49.

Пользуясь свойствами полосы попадания можно дать новое определение интервала попадания d_z для чего рассмотрим чертеж № 50 и 51. На чертеже видно, что интервал попадания d_z (прямая BN и AN) есть ширина полосы попадания по направлению перпендикулярному траекториям торпед.

Закончив разбор полосы попадания перейдем к ее практическому применению.



Черт. № 50.



Черт. № 51.

Практическое применение полосы попадания.

Полоса попадания применяется:

1. при уклонении от следа торпед,
2. для определения возможности попадания при прицельных стрельбах и
3. при вычислении вероятностей попадания торпеда.

Уклонение корабля от следа торпеды - есть маневр при котором корабль подставляет торпеде свои наименьшее измерение - ширину

Прежде чем разбирать выполнение маневра уклонения следует установить в каких случаях уклонение от следа торпеды необходимо и в каких нет.

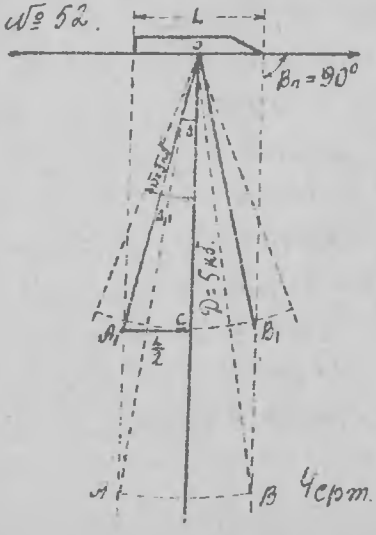
Исходя из свойств полосы попадания можно заключить, что при обнаружении следа торпеды надо определить - находится ли он в полосе попадания или нет тогда в первом случае уклонение необходимо, а во

втором уклоняться не нужно, так как корабль меняя элементы движения может случайно привести торпеду в полосу попадания.

Для определения в море полосы попадания необходимо знать направление ее β_n и ширину. Для удобства наблюдения полоса попадания заменяется специальным сектором, направление которого есть направление полосы попадания, а величина определяется на основании следующих соображений:

1. Направление полосы попадания или сектора наблюдения атакуемый корабль определяет своим курсовым углом в момент торпедного залпа атакующего корабля, так как $\beta_n = q_к$, при правильном направлении выпущенных торпед. В море, при уклонении от торпед противника следует всегда считать, что они выпущены правильно.

2. Для определения величины сектора наблюдения рассмотрим чертеж № 52.



Черт. № 52.

На чертеже показана наибольшая по ширине для данного корабля полоса попадания, направление которой очевидно должно равняться 90°.

Далее считая, что след торпеды можно обнаружить на максимальной дистанции порядка 5-6 кб., из середины цели, как из центра, радиусом $D = 5$ кб. описывается дуга AB. Найденный таким образом сектор AOB определяет положение торпеды в полосе попадания, при обнаружении последней на максимально возможной дистанции. Считая, что след торпеды может быть обнаружен и ближе 5 кб., найдем величину соответствующего сектора, для минимально возможной дистанции, при которой еще возможно уклонение. Для этого из точки O как из центра описываем дугу A_1B_1 радиусом $D_1 = 3$ кб. Сектор A_1OB_1 и будет отвечать заданным условиям.

Определение величины сектора A_1OB_1.

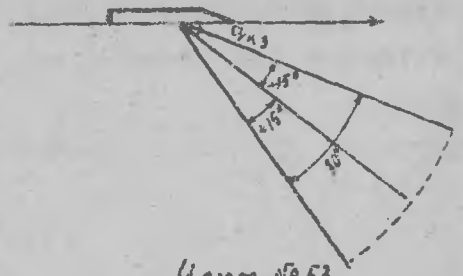
Из чертежа в ΔA_1OC $\sin\Delta = \frac{A_1C}{D_1} = \frac{L}{2D_1}$

Приняв $L = 1$ кб. найдем

$$\sin\Delta = \frac{0,5}{3} = \frac{5}{30} = 0,167 \text{ откуда}$$

$\Delta \cong 10°$, увеличив для гарантии величину Δ еще на 5° найдем окончат., что $\Delta_1 = 15°$

Следовательно, определив свой КУ в момент залпа атакующего корабля ($q_{кз}$) и решив уклоняться только от торпед н-р атакованного корабля должен установить наблюдение за следом торпед в пределах сектора равного $q_{кз} \pm 15°$ черт. 53.



Черт. № 53.

Обнаруживив след торпеды в пределах указанного сектора наблюдения, к-р атакованного корабля начинает маневрен. уклонения.

В отдельных случаях при обнаружении залпа близко подошедшего корабля противника, каким может быть ПЛ или торпедный катер немедленно следует производить маневр уклонения от данного корабля, как от следа торпеды.

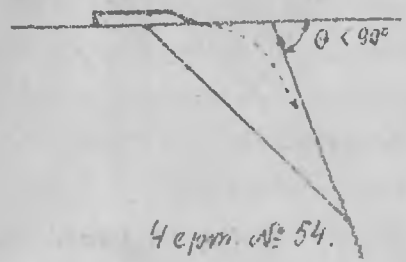
Выполнение маневра уклонения от следа торпеды может производиться двумя способами: переменной скорости, особенно на КУ близких к 90° и поворотом.

Первый способ уклонения мало применим, так как резкое уменьшение скорости атакуемого корабля может облегчить атаку других кораблей противника или авиации. Наиболее целесообразен второй способ уклонения поворотом. Поворот может производиться на торпеду или от торпеды в зависимости от обстановки.

Ниже приводятся соответствующие чертежи 54, 55 и 56 показывающие 3 случая уклонения от

следа торпеды поворотом корабля в зависимости от предполагаемого угла встречи

1-случай $\Theta < 90°$

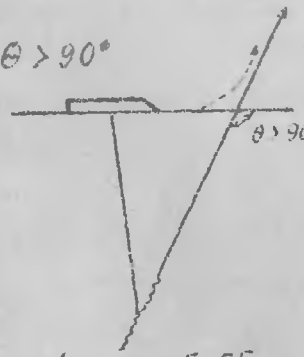


Поворот на торпеду

$\Psi_п = \Theta$

Черт. № 54.

2 случай $\Theta > 90°$

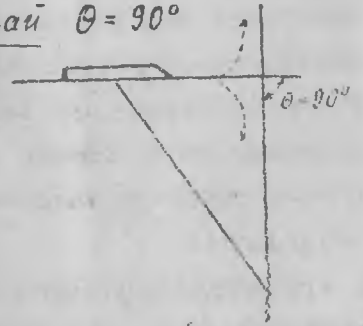


Поворот от торпеды

$\Psi_п = 180° - \Theta$

Черт № 55.

3 случай $\Theta = 90°$



Поворот в любую сторону (на торпеду или от торпеды)

$\Psi_п = 90°$

Черт. № 56.

Из рассмотрения чертежей 54, 55 и 56 следует, что: сторона поворота и величина его при уклонении от следа торпеды определ. углом встречи.

Определять в момент уклонения величину предполагаемого угла встречи весьма трудно, поэтому угол встречи необходимо заменить соответствующим КУ на след. торпеды. Для рассмотрения этого вопроса составим таблицу № 3 по следующим данным

$m_{min} = 0,350$

$m_{max} = 0,850$

$m_{средн.} = 0,600$ и

$\Theta = 90°$

Таблица №3.

Θ \ m	0,350	0,600	0,850
	курсовые углы		
90°	70°	[60°]	50°

В среднем $\Theta \cong 1\frac{1}{2}\, q_к$

Считая, что вред. отношение скоростей корабля и неприятельской торпеды, будет меньше 0,350 и больше 0,850 поэтому в среднем можно принять величину КУ корабля, которому соответствует угол встречи 90° равной 60°.

Отсюда пользуясь данным выводом можно составить общее правило выполнения маневра уклонения от следа торпеды.

Правило уклонения от следа торпеды.

1. Если КУ на след обнаруженной торпеды меньше 60° поворот на торпеду и угол поворота равен $1\frac{1}{2} - 2\, q_к$.

2. Если курсовой угол на след торпеды больше 60° поворот от торпеды и угол поворота равен 180° - ($1\frac{1}{2}$

3. При КУ на след торпеды равном 60° поворот любую сторону на 90°.

Для пояснения приведенного правила решим 2 мерка:

1. След торпеды замечен на $q_к = 50°$ прав. борта. Уклонение производится на торпеду и поворот вправо на $1,5 \times 50 = 75°$.

2. След торпеды замечен на КУ лев. борта 80°. В этом случае поворот от торпеды вправо на $180° - 1,5 \times 80° = 180° - 120° = 60°$.

Определение возможности попадания при приближенных стрельбах.

Из разобранного ранее известно, что направление полосы попадания (Пл) есть КУ цели в момент за... Данное положение справедливо только тогда, когда торпеде придано правильное направление, т.е. $q_{кз}$, если все это условие не соблюдено, то и направление полосы попадания будет другое. Следовательно построив полосу попадания по практическому углу встречи, а позицию залпа по истинному $q_{кз}$ можно наглядно убедиться в возможности попадания.

Например в результате стрельбы с торп. кат. получены следующие данные:

	Ист. дан.	Наблюд. дан.	Ошибки
$q_{ко}$	55°		
$q_{нз}$	42°	50°	+ 8°
Д	5	6	+ 1
$V_к$	21	21	0
φ	20 1/2°	23 3/4°	+ 3 1/4°

Длина цели 1 кб.

$V_т = 40$ уз

По этим данным построим полосу попадания и позицию залпа в масштабе длины корабля.

Для чего:

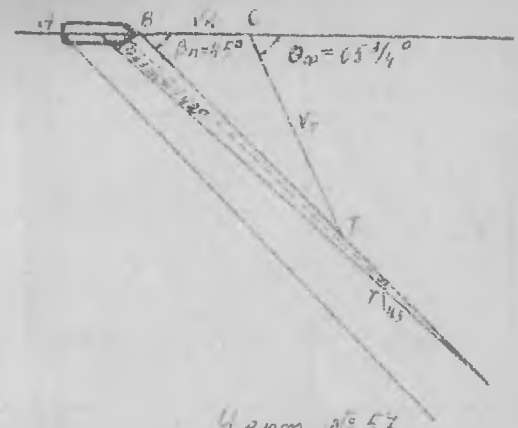
1) по $m = 0{,}525$ и $q_{нз} = 50°$ находим $\varphi_н = 23\frac{3}{4}°$.

2) рассчитываем $\vartheta_{ср} = q_{нз\,ист.} + \varphi_н = 42° + 23\frac{3}{4}° = 65\frac{3}{4}°$

3) из точки А (черт. 57) строим в масштабе вектор $V_к = 21$ уз. От точки (С) строим практический угол встречи $65\frac{3}{4}°$ и по направлению обратному траектории торпеды проводим в том же масштабе вектор скорости торпеды $V_т$.

4) Соединив точки В и Т проводим направление и саму полосу попадания.

5) Из середины цели в масштабе длины ее строим позицию залпа. Как видно из чертежа 57 торпеда попадет в носовую часть корабля ИЗ.



Черт. № 57

Последующее применение полосы попадания для вычисления вероятности попадания торпедами разбираться не будем, поскольку этот вопрос непосредственно относится к теории вероятностей.

Гом 13,4 Заказ № 91 Тираж 100

Опечатки.

На странице 41 (7 строка сверху) напечатано:

сокращаем $(\sin^2 q_к + \cos^2 q_к)\, m^2 \sin^2 q_к\, (\sin^2 q_к + \cos^2 q_к) = \cos^2 q_к$,

Следует читать:

сокращаем $(\sin^2 q_к + \cos^2 q_к)$, тогда $m^2 \sin^2 q_к\, (\sin^2 q_к + \cos^2 q_к) = \cos^2 q_к$,

На странице 52 (2 строка снизу) напечатано:

2. При $q_к = 90°$; $\frac{de}{dq_к} = \frac{m}{(\sqrt{1-m^2})^2} = \frac{m}{1-m}$ достигает максимума

Следует читать:

2. При $q_к = 90°$; $\frac{de}{dq_к} = \frac{m \cdot D}{(\sqrt{1-m^2})^2} = \frac{m \cdot D}{1-m}$ достигает максимума

На странице 52 (формула 20) напечатано:

$$\frac{de}{dq_к} = \frac{\left(\frac{m^2 \sin q_к \cdot \cos q_к}{\sqrt{1-m^2 \sin^2 q_к}} + m \sin q_к\right) D}{(\sqrt{1-m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к)^2} \qquad (20)$$

Следует читать:

$$\frac{de}{dq_к} = \frac{\left(\frac{m^2 \sin q_к \cdot \cos q_к}{\sqrt{1-m^2 \sin^2 q_к}} + m \sin q_к\right) D}{(\sqrt{1-m^2 \sin^2 q_к} + m \cos q_к)^2} \qquad (20)$$